



**TUGAS AKHIR TERAPAN - RC 145501**

# **PERENCANAAN STRUKTUR BANGUNAN RUKO EMPAT LANTAI DI SURABAYA DENGAN MENGGUNAKAN METODE SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH (SRPMM)**

**NAILUS SA'ADAH**  
**NRP. 3114 030 048**

**Dosen Pembimbing**  
**Ir. SRIE SUBEKTI, MT**  
**NIP. 19560520 198903 2 001**

**PROGRAM STUDI DIPLOMA TIGA TEKNIK SIPIL**  
**DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR**  
**FAKULTAS VOKASI**  
**INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER**  
**SURABAYA 2017**



**TUGAS AKHIR TERAPAN - RC 145501**

**PERENCANAAN STRUKTUR BANGUNAN RUKO  
EMPAT LANTAI DI SURABAYA DENGAN  
MENGUNAKAN METODE SISTEM RANGKA PEMIKUL  
MOMEN MENENGAH (SRPMM)**

**NAILUS SA'ADAH  
NRP. 3114 030 048**

**Dosen Pembimbing  
Ir. SRIE SUBEKTI, MT  
NIP. 19560520 198903 2 001**

**PROGRAM STUDI DIPLOMA TIGA TEKNIK SIPIL  
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2017**



***FINAL PROJECT - RC 145501***

***PLANNING OF STRUCTURE OF FOUR-STORY  
SHOPHOUSE BUILDING IN SURABAYA USING  
INTERMEDIATE MOMENT FRAME SYSTEM METHOD  
(SRPMM)***

***NAILUS SA'ADAH  
NRP. 3114 030 048***

***Counsellor Lecturer  
Ir. SRIE SUBEKTI, MT  
NIP. 19560520 198903 2 001***

***CIVIL ENGINEERING DIPLOMA THREE PROGRAM  
DEPARTEMENT OF INFRASTRUCTURE ENGINEERING  
FACULTY OF VOCATION  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA 2017***

## LEMBAR PENGESAHAN

**“PERENCANAAN STRUKTUR BANGUNAN RUKO EMPAT  
LANTAI DI SURABAYA DENGAN MENGGUNAKAN  
METODE SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN  
MENENGAH (SRPMM)”**

### TUGAS AKHIR TERAPAN

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Kelulusan pada  
Konsentrasi Bangunan Gedung Program Studi Diploma Tiga  
Departemen Teknik Infrastruktur Sipil Fakultas Vokasi  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

**Surabaya, Juli 2017**

**Mahasiswa I**



**Nailus Sa'adah**

**NRP. 3114030048**

**27 JUL 2017**



**Disetujui oleh :  
Dosen Pembimbing Tugas Akhir**

**Ir. SRIE SUBEKTI, MT**

**NIP. 19560520 198903 2 001**





**BERITA ACARA**  
**TUGAS AKHIR TERAPAN**  
PROGRAM STUDI DIPLOMA TIGA TEKNIK SIPIL  
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL  
FAKULTAS VOKASI ITS

No. Agenda :  
037713/IT2.VI.8.1/PP.06.00/2017

Tanggal : 20 Juli 2017

Judul Tugas Akhir Terapan	Perencanaan Struktur Bangunan Ruko 4 Lantai di Surabaya dengan Menggunakan Metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM).		
Nama Mahasiswa 1	Nailus Sa'adah	NRP	3114030048
Nama Mahasiswa 2	Alfan Wahyu R	NRP	3114030059
Dosen Pembimbing 1	Ir. Sri Subekti, MT NIP 19560520 198903 2 001	Tanda tangan	
Dosen Pembimbing 2	- NIP -	Tanda tangan	

URAIAN REVISI	Dosen Penguji
	Ir. Sri Subekti, MT NIP 19560520 198903 2 001
	Afif Navir R, ST. MT NIP 19840919 201504 1 001
<ul style="list-style-type: none"><li>• data tanah diganti yang sesuai</li><li>• Momen lentur ambil max</li><li>• gambar 2 di cek semua</li></ul>	
	Nur Achmad Husin, ST. MT NIP 19720115 199802 1 001
	-
	NIP -
	-
	-

PERSETUJUAN HASIL REVISI				
Dosen Penguji 1	Dosen Penguji 2	Dosen Penguji 3	Dosen Penguji 4	Dosen Penguji 5
Ir. Sri Subekti, MT	Afif Navir R, ST. MT	Nur Achmad Husin, ST. MT	-	-
NIP 19560520 198903 2 001	NIP 19840919 201504 1 001	NIP 19720115 199802 1 001	NIP -	-

Persetujuan Dosen Pembimbing Untuk Penjilidan Buku Laporan Tugas Akhir Terapan	Dosen Pembimbing 1	Dosen Pembimbing 2
	Ir. Sri Subekti, MT NIP 19560520 198903 2 001	- NIP -

**KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI****INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER****FAKULTAS VOKASI**

DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL

Kampus ITS, Jl. Menur 127 Surabaya 60116

Telp. 031-5947637 Fax. 031-5938025

<http://www.diplomasipil-its.ac.id>**ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN**

**Nama** : 1 NAILUS SAADAH 2 ALFAN WAHYU RAMADHAN.  
**NRP** : 1 3114030648 2 3114030059.  
**Judul Tugas Akhir** : PERENCANAAN STRUKTUR BANGUNAN RUKO 4 LANTAI DI SURABAYA DENGAN MENGGUNAKAN METODE SISTEM RANGA PEMIKUL MOMEN MENENGAH (SRPMM)  
**Dosen Pembimbing** : Ir. SRIE SUBEKTI, M.T

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan		
1.	2 Februari 2017	- Menunjukkan data (denah, tampak potongan)				
		- Dilanjutkan proposal.		B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2.	9 Februari 2017	- Asistensi proposal.				
		- Abstrak belum dibuat.		B	C	K
		- Jadwal dalam pengerjaan TA.		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- Kontrol lendutan dan retak pada Metodologi(?)				
3.	14 Februari 2017	revisi jadwal, kontrol rasak plat & balok untuk atap 3x3 acs di jilid		B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				B	C	K
4.	23 Februari 2017	- Preliminary Desain.		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- Cek Plat (Perhitungan).				
		- Cek perhitungan kolom.				
		- Cek perhitungan pembebanan Sesuai SNI baru.		B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**Ket.** :  
B = Lebih cepat dari jadwal  
C = Sesuai dengan jadwal  
K = Terlambat dari jadwal



# KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI

## INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

### FAKULTAS VOKASI

DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL

Kampus ITS, Jl. Menur 127 Surabaya 60116

Telp. 031-5947637 Fax. 031-5938025

<http://www.diplomasipil-its.ac.id>

### ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN

Nama

: 1 NAILUS SA'ADAH

2 31140300 48

NRP

: 1 ALFAN WAHYU R.

2 31140300 59

Judul Tugas Akhir

:

Dosen Pembimbing

: Ir. SRIE SUBEKTI, M.T.

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan		
5.	2 Maret 2017	- Perhitungan plat menggunakan SNI Baru.				
				B	C	K
6.	16 Maret 2017	- Tinggi lantai 2 disamakan ke atas.		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- Panjang kolom pendek.				
		- Denah plat, pembalokan, kolom; sloof, potongan gambar portal.		B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- Kata pengantar (orang tua).				
		- Spasi ada yang salah.		B	C	K
		- Metode pelaksanannya.		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- Hitungan dilengkapi dengan gambar.				
				B	C	K
7.	3 April 2017	- Bentang bersih Plat dibersihkan.		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- Pembatasan keramik dari plafon menggunakan peraturan pembatasan saja.				
				B	C	K
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Ket.

B = Lebih cepat dari jadwal

C = Sesuai dengan jadwal

K = Terlambat dari jadwal





# KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

FAKULTAS VOKASI

DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL

Kampus ITS, Jl. Menur 127 Surabaya 60116

Telp. 031-5947637 Fax. 031-5938025

<http://www.diplomasipil-its.ac.id>

## ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN

Nama : 1 NAILUS SAADAH 2 3114030048  
 NRP : 1 ALFAN WAHYU RAMADHAN 2 3114030059  
 Judul Tugas Akhir :

Dosen Pembimbing : Ir. SRIE SUBEKTI, M.T.

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan		
8	10 April 2017	- Cek nilai bw, dan nilai h pada perhitungan pelat lantai				
		- Gambar perletakan pelat pada perhitungan.		B	C	K
		- Mlx, My... dari mana?		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- Cek gambar tulangan rangkap dan tunggal.		B	C	K
		- Gambar detail profil pada perhitungan		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
				B	C	K
9	27 April 2017	- Penutup atap rangka baja diganti genteng.		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- Perhitungan pembebanan dirinci.		B	C	K
		- Detail Gambar Samb. Rangka baja		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10	18 Mei 2017	- Membawa Diagram Interaksi				
		- Hasil PCA Kolom (?).				
		- Gambar detail penulangan. Lolot		B	C	K
		digambar kanan - kiri sesuai		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		hasil perhitungan.				

Ket.

B = Lebih cepat dari jadwal

C = Sesuai dengan jadwal

K = Terlambat dari jadwal



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

FAKULTAS VOKASI

DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL

Kampus ITS, Jl. Menur 127 Surabaya 60116

Telp. 031-5947637 Fax. 031-5938025

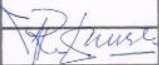
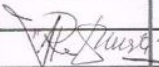

<http://www.diplomasipil-its.ac.id>

## ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN

Nama : 1 NATIUS SA' ADAH  
NRP : 1 3114030048  
Judul Tugas Akhir :

2 ALFAN WAHYU R.  
2 3114030059

Dosen Pembimbing : Ir. SRIE SUBEKTI, M.T

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan		
11.	2 Juni 2017	- Penggambaran Detail Penulangan				
		- Metode Pelaksanaan kolom + volume tulangan + durasi waktu pengerjaan		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12.	6 Juni 2017	- Skala detail penulangan tangga diperbesar				
		- Potongan tangga dibetulkan		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- Potongan atap rangka baja dibetulkan				
		- Gambar detail penulangan plat lantai dibetulkan (sesuai materi pak dicky)		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13.	16 Juni 2017	- Detail portal dilengkapi (per lantai)				
		- Detail dilatasi kolom		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		- Gambar detail portal dipersejais				
				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Ket.

B = Lebih cepat dari jadwal

C = Sesuai dengan jadwal

K = Terlambat dari jadwal

# **PERENCANAAN STRUKTUR BANGUNAN RUKO EMPAT LANTAI DI SURABAYA DENGAN MENGGUNAKAN METODE SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH (SRPMM)**

**Nama Mahasiswa 1** : Nailus Sa'adah  
**NRP** : 3114 030 048  
**Jurusan** : DIII Teknik Sipil FTSP-ITS

**Dosen Pembimbing** : Ir. Srie Subekti, MT  
**NIP** : 19560520 198903 2 001

## **ABSTRAK**

Perencanaan struktur bangunan ruko empat lantai terletak di daerah Surabaya yang jenis tanahnya sedang dengan nilai rata-rata  $SPT \bar{N} = 22,32$  ( $15 < N < 50$ ). Bangunan ini termasuk dalam kategori resiko II. Bangunan ini terdiri dari empat lantai dengan panjang bangunan 166,70 meter dan lebar 21 meter dengan atap eksisting seng gelombang, dan terdapat dua dilatasi yang ada bangunan. Kemudian untuk kebutuhan rencana perhitungan struktur, bangunan hanya dihitung strukturnya dari as A sampai as Y sehingga panjang bangunan menjadi 121,70 meter dengan lebar yang sama yaitu 21 meter, sehingga hanya terdapat satu dilatasi bangunan. Untuk atap direncanakan menggunakan atap rangku baja dengan penutup atap genteng. Karena metode perhitungan yang digunakan adalah SRPMM, sedangkan daerah Surabaya tidak dapat menggunakan metode tersebut, maka untuk kebutuhan perhitungan digunakan data tanah daerah Malang untuk menyesuaikan metode perhitungan yang digunakan.

Perhitungan elemen struktur bangunan dan beban-beban yang terjadi, baik beban lateral (gempa dan angin) maupun beban gravitasi (beban mati dan beban hidup), dihitung sesuai dengan SNI 2847 : 2013 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung, SNI 1726 : 2012 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung, SNI 1727:2013 Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur lain serta Peta Hazzard Indonesia 2010 periode ulang 10% dalam 50 tahun. Sedangkan analisa gaya dalam yang terjadi pada elemen struktur dilakukan dengan program SAP2000 dengan mininjau dua portal saja, yaitu portal memanjang dan portal melintang. Untuk kebutuhan tulangan pada kolom digunakan program PCAColoumn. Proses dalam perhitungan struktur dengan menggunakan metode SRPMM adalah meliputi perhitungan gempa statik ekuivalen, preliminari desain struktur, pemodelan struktur dengan SAP2000, pembebanan struktur, analisa gaya dalam serta perhitungan penulangan dan cek persyaratan sesuai dengan SRPMM. Struktur primer terdiri dari balok dan kolom, struktur sekunder terdiri dari plat lantai dan tangga, dan struktur atap rangka baja terdiri dari gording, penggantung gording, ikatan angin, kuda-kuda, dan kolom baja.

Dari hasil analisa struktur dengan metode SRPMM diperoleh tebal plat lantai 15 cm, balok B1 30/50, balok B2 20/35, balok bordes BB 20/35, balok anak 20/35, dan kolom 40/40. Untuk perhitungan penulangan kolom dihitung dua kali karena panjang kolom berbeda sehingga untuk kolom K1 diperoleh hasil 8D19 sedangkan kolom K2 diperoleh hasil 12D22. Dan juga disertai dengan penjelasan metode pelaksanaan pekerjaan kolom.

***Kata Kunci : Bangunan Ruko 4 Lantai di Surabaya, Gempa Statik Ekuivalen, Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah***

***PLANNING OF STRUCTURE OF FOUR-STORY  
SHOPHOUSE BUILDING IN SURABAYA USING  
INTERMEDIATE MOMENT FRAME SYSTEM  
METHOD (SRPMM)***

<b><i>Name Of Student 1</i></b>	<b>: Nailus Sa'adah</b>
<b><i>NRP</i></b>	<b>: 3114 030 048</b>
<b><i>Department</i></b>	<b>: DIII Civil Engineering FTSP-ITS</b>
<b><i>Counsellor Lecturer</i></b>	<b>: Ir. Srie Subekti, MT</b>
<b><i>NIP</i></b>	<b>: 19560520 198903 2 001</b>

***ABSTRACT***

*The planning of the structure of the four-floor's shophouses that is located in the Surabaya area of moderate soil type with average SPT  $N^- = 22.32$  ( $15 < N < 50$ ). This building belongs to the risk category II. This building consists of four floors with a building length of 166.70 meters and a width of 21 meters with the existing roof of zinc wave, and there are two existing dilated buildings. Then for the needs of the calculation plan of the structure, the building only calculated its structure from A to Z, so the length of the building becomes 121.70 meters with the same width of 21 meters, so there is only one dilated building. For the roof is planned to use a steel rail roof with roof tile coverings. The need in planning preliminary design of this four-floor's shop building will be recalculated by replacing the dimensions of its structure.*

*Calculation of structural elements of buildings and loads occurring, both lateral loads (earthquakes and winds) as well as*



*gravity loads (dead load and live load), are calculated in accordance with SNI 2847: 2013 Structural Concrete Requirements for Building Buildings, SNI 1726: 2012 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung, SNI 1727: 2013 Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur lain and Other Structures and other supporting literature. While the inner force analysis that occurs in structural elements is done with the SAP2000 program by reviewing the two portals only, namely the longitudinal portal and the transverse portal. For the need for reinforcement in the column used PCAColoumn program. The process of calculating the structure using the SRPMM method involves calculating the equivalent static earthquake, preliminary structural design, structure modeling with SAP2000, structural loading, inner style analysis as well as counting calculations and check requirements in accordance with SRPMM. The primary structure consists of beams and columns, secondary structures consisting of floor plates and stairs, and the structure of the steel frame roof consisting of gording, hanging gording, wind bonds, horses, and steel columns.*

*From result of structure analysis with method of SRPMM obtained thickness of floor plate 15 cm, beam B1 30/50, beam B2 20/35, beam BB 20/35 beam, child beam 20/35, and column 40/40. For the calculation of column counting is counted twice because the length of the column is different so that for column K1 obtained the result of 8D19 while column K2 obtained result 12D22. And also accompanied by an explanation of the method of implementation of the column work.*

***Keywords: Four Story Shop Building, Static Equivalent Quake, Intermediate Moment Frame System***

## KATA PENGANTAR

Segala puji syukur kehadiran Allah SWT, Tuhan Yang Maha Kuasa, yang telah memberikan berkah, anugerah, dan karunia yang melimpah sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir Terapan dengan Judul “Perencanaan Struktur Bangunan Ruko 4 Lantai di Surabaya dengan Menggunakan Metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM)”.

Tugas akhir terapan dengan judul “Perencanaan Struktur Bangunan Ruko 4 Lantai di Surabaya dengan Menggunakan Metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah” merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar ahli madya pada Diploma III Departemen Teknik Infrastruktur, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, dan sebagai salah satu syarat kelulusan.

Dalam penyusunan tugas akhir terapan dengan judul “Perencanaan Struktur Bangunan Ruko 4 Lantai di Surabaya dengan Menggunakan Metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah” penulis menyadari bahwa tanpa bimbingan, bantuan, dan doa dari berbagai pihak, tugas akhir terapan ini tidak dapat diselesaikan tepat pada waktunya. Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu dalam proses pengerjaan proposal tugas akhir ini, yaitu kepada :

1. Orang tua serta keluarga yang telah memberikan dukungan moral, doa, dan kasih sayang.
2. Bapak Machsus, ST, MT. selaku Ketua Program Studi Diploma Teknik Sipil.
3. Bapak Ir. Didik Harijanto, CES. selaku Ketua Koordinator Kerja Praktik dan Tugas Akhir.
4. Ibu Ir. Srie Subekti, MT. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah memberikan bimbingan dan masukan kepada penulis.
5. Semua pihak yang namanya tidak dapat disebutkan satu per satu.

Akhir kata penulis mengharapkan kritik dan saran yang bersyarat membangun untuk perbaikan di masa yang akan datang. Semoga proposal tugas akhir terapan ini dapat bermanfaat bagi penulis maupun pembaca.

Surabaya, Juli 2017

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	i
<b>ABSTRAK</b> .....	iii
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	vii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	ix
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xix
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xxvii
<b>DAFTAR NOTASI</b> .....	xxxix
<b>BAB I</b> .....	1
<b>1.1. Latar Belakang</b> .....	1
<b>1.2. Perumusan Masalah</b> .....	2
<b>1.3. Batasan Masalah</b> .....	2
<b>1.4. Tujuan</b> .....	2
<b>1.5. Manfaat</b> .....	3
<b>1.6. Data yang Digunakan</b> .....	3
<b>BAB II</b> .....	5
<b>2.1. Tinjauan Umum</b> .....	5
<b>2.2. Tahap-Tahap Dalam Penentuan Metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah ( SRPMM)</b> .....	6
<b>2.3. Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah</b> .....	9
<b>2.3.1. Syarat-Syarat yang Dipakai Dalam Perhitungan</b> .....	10
<b>2.3.2. Kekuatan Geser</b> .....	11
<b>2.3.3. Balok</b> .....	12

2.3.4.	Kolom .....	13
2.3.5.	Slab Dua Arah Tanpa Balok .....	14
2.4.	Pemisah Struktur (Dilatasi Pada Bangunan).....	17
2.4.1.	Penentuan Simpangan Antarlantai.....	17
2.4.2.	Batasan Simpangan Antarlantai .....	18
2.4.3.	Jarak Dilatasi Kolom pada Perencanaan Struktur Bangunan .....	20
2.5.	Beban-Beban yang Bekerja Pada Struktur .....	21
2.5.1.	Beban Mati.....	21
2.5.2.	Beban Hidup .....	21
2.5.3.	Beban Angin.....	22
2.5.4.	Beban Gempa.....	22
2.5.4.1.	Gempa Rencana.....	22
2.5.4.2.	Faktor Keutamaan dan Kategori Risiko Struktur Bangunan .....	22
2.5.4.3.	Kombinasi Pembebanan yang Digunakan dalam Perhitungan .....	23
2.5.4.4.	Kelas Situs .....	24
2.5.4.5.	Koefisien-Koefisien Situs Dan Parameter-Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa Maksimum Yang Dipertimbangkan Risiko-Tertarget ( $M_{ce_r}$ ) .....	25
2.5.4.6.	Parameter Percepatan Spektral Desain ..	26
2.5.4.7.	Spektrum Respons Desain .....	26
2.5.4.8.	Kategori Desain Seismik .....	28

2.5.4.9.	Kombinasi Sistem Perangkai dalam Arah yang Berbeda .....	29
2.5.4.10.	Gaya Dasar Seismik .....	30
2.5.4.11.	Perhitungan Koefisien Respons Seismik .....	30
2.5.4.12.	Periode Fundamental Pendekatan .....	31
2.5.4.13.	Distribusi Vertikal Gaya Gempa .....	32
<b>BAB III</b>	.....	<b>33</b>
3.1.	Data Perencanaan.....	33
3.2.	Pengumpulan Data .....	34
3.3.	Preliminary Desain.....	34
3.3.1.	Struktur Primer.....	34
3.3.2.	Struktur Sekunder .....	35
3.4.	Perhitungan Pembebanan .....	38
3.5.	Analisa Gaya Dalam.....	39
3.6.	Perhitungan Penulangan Elemen Struktur Bangunan .....	39
3.7.	Kontrol Persyaratan.....	40
3.8.	Gambar Rencana.....	40
3.9.	Flow Chart Metodologi .....	42
3.9.1.	Metodologi Perencanaan.....	42
3.9.2.	Struktur Sekunder .....	44
3.9.3.	Struktur Primer .....	50
3.9.4.	Struktur Atap Rangka Baja (Rangka Kaku)..	62
3.9.4.1.	Perhitungan Gording .....	62

3.9.4.2.	Perhitungan Kuda-Kuda .....	63
3.10.	<i>Flowchart</i> Metode Pelaksanaan Pekerjaan	
Struktur Lantai Dua .....		64
3.10.1.	Pekerjaan Konstruksi Kolom .....	64
BAB IV .....		65
4.1.	Perencanaan Dimensi Struktur .....	65
4.1.1.	Perencanaan Dimensi Balok .....	65
A.	Balok Induk B1 .....	65
B.	Balok Induk B2 .....	66
C.	Balok Anak B3 .....	66
D.	Balok Anak B4 .....	67
4.1.2.	Perencanaan Dimensi Kolom .....	68
A.	Kolom (K1) .....	68
B.	Kolom (K2) .....	69
C.	Kolom (K3) .....	70
D.	Kolom (K4) .....	71
4.1.3.	Perencanaan Dimensi Sloof .....	72
Kesimpulan: .....		73
1.	Balok .....	73
2.	Kolom .....	73
4.1.4.	Perencanaan Tebal Plat .....	74
□	Balok B1 As B 2-3 (25/45) .....	75
□	Balok B1 As B' 2-3 (25/45) .....	76
□	Balok B1 As A 2-3 (25/45) .....	78

□	Balok B1 As A' 2-3 (25/45).....	79
4.1.5.	Perencanaan Dimensi Tangga .....	82
4.1.6.	Perencanaan Struktur Atap Baja .....	86
4.1.6.1.	Perencanaan Gording .....	86
4.1.6.2.	Perencanaan Penggantung Gording .....	101
4.1.6.3.	Perencanaan Ikatan Angin Atap .....	104
4.1.6.4.	Perhitungan Kuda-Kuda .....	109
4.1.6.5.	Perhitungan Regel .....	114
4.1.6.6.	Perhitungan Kolom Baja .....	128
4.2.	Perhitungan Struktur .....	135
4.2.1.	Pembebanan Struktur .....	135
4.2.1.1.	Pembebanan Plat .....	135
4.2.1.2.	Pembebanan Tangga .....	136
4.2.1.3.	Pembebanan Dinding .....	136
4.2.1.4.	Pembebanan Kolom .....	137
4.2.1.5.	Pembebanan Gempa .....	137
A.	Klasifikasi Situs Tanah .....	138
B.	Faktor Percepatan Batuan Dasar ( $S_s$ , $S_1$ ).....	138
C.	Faktor Koefisien Situs ( $F_a$ , $F_v$ ) dan Parameter Respon ( $S_{MS}$ , $S_{M1}$ ).....	139
D.	Parameter Percepatan Desain ( $S_{D1}$ , $S_{DS}$ ) sesuai SNI 1726-2012 Pasal 6.3 .....	139
E.	Faktor keutamaan ( $I$ ) .....	139
F.	Massa Struktur .....	140



G.	Nilai Fundamental Pendekatan.....	140
H.	Nilai Koefisien Respons Seismik .....	141
I.	Nilai Geser Dasar Seismik .....	142
J.	Mencari Gaya Seismik Lateral.....	142
K.	Distribusi Gaya Gempa.....	142
L.	Eksentrisitas Struktur.....	144
4.3.	Perencanaan Dimensi dan Tulangan Pelat .....	147
4.3.1.	Perencanaan Pelat .....	147
4.3.1.1.	Penulangan Plat Type 1 (3,69 x 5,0 m) As A-B 7-6 .....	147
4.3.1.2.	Penulangan Plat Type 2 (6,7 x 2,5 m) As A- B 6-5 .....	159
4.3.1.3.	Rekapitulasi Penulangan Pelat Lantai ..	167
4.3.2.	Perencanaan Tangga.....	169
4.3.2.1.	Pembebanan Tangga .....	170
4.3.2.2.	Pembebanan Tangga .....	171
4.3.2.3.	Mekanika Tangga.....	172
4.3.2.4.	Penulangan Tangga .....	182
4.3.2.5.	Penulangan Bordes .....	184
4.3.3.	Perencanaan Balok Bordes .....	187
4.3.3.1.	Perhitungan Penulangan Torsi .....	192
4.3.3.2.	Perhitungan Penulangan Lentur.....	196
4.3.3.3.	Perhitungan Penulangan Geser.....	214
4.3.3.4.	Perhitungan Panjang Penyaluran.....	221
4.4.	Perhitungan Balok.....	227

<b>4.4.1.</b>	<b>Perhitungan Balok Induk B1 As 4 A-B .....</b>	<b>227</b>
4.4.1.1.	Perhitungan Penulangan Torsi .....	233
4.4.1.2.	Perhitungan Penulangan Lentur .....	237
4.4.1.3.	Perhitungan Penulangan Geser .....	254
4.4.1.4.	Perhitungan Panjang Penyaluran .....	263
<b>4.4.2.</b>	<b>Perhitungan Balok Induk B2 As 4 J-K .....</b>	<b>269</b>
4.4.2.1.	Perhitungan Penulangan Torsi .....	275
4.4.2.2.	Perhitungan Penulangan Lentur .....	279
4.4.2.3.	Perhitungan Penulangan Geser .....	298
4.4.2.4.	Perhitungan Panjang Penyaluran .....	307
<b>4.4.3.</b>	<b>Perhitungan Balok Anak B4 As 6-7; E-F .....</b>	<b>313</b>
4.4.3.1.	Perhitungan Penulangan Torsi .....	319
4.4.3.2.	Perhitungan Penulangan Lentur .....	321
4.4.3.3.	Perhitungan Penulangan Geser .....	338
4.4.3.4.	Perhitungan Panjang Penyaluran .....	345
<b>4.4.4.</b>	<b>Perhitungan Balok Lift B5 As 6-7; B-C .....</b>	<b>351</b>
4.4.4.1.	Perhitungan Penulangan Torsi .....	358
4.4.4.2.	Perhitungan Penulangan Lentur .....	360
4.4.4.3.	Perhitungan Penulangan Geser .....	377
4.4.4.4.	Perhitungan Panjang Penyaluran .....	384
<b>4.4.5.</b>	<b>Perhitungan Balok Tarik/ Sloof/Tie Beam S1 As 1; A-B .....</b>	<b>390</b>
4.4.5.1.	Perhitungan Penulangan Torsi .....	396
4.4.5.2.	Perhitungan Penulangan Lentur .....	397

4.4.5.3.	Perhitungan Penulangan Geser.....	415
4.4.5.4.	Perhitungan Panjang Penyaluran.....	422
4.5.	Perhitungan Kolom .....	427
4.5.1.	Perhitungan Kolom K1 .....	427
4.5.1.1.	Perhitungan Penulangan Lentur Kolom K1 .....	427
4.5.1.2.	Perhitungan Penulangan Geser Kolom K1 . .....	452
4.5.1.3.	Perhitungan Sambungan Lewatan Tulangan Vertikal Kolom.....	457
4.5.1.4.	Panjang Penyaluran Tulangan Kolom ..	457
4.5.2.	Perhitungan Kolom K2 .....	458
4.5.2.1.	Perhitungan Penulangan Lentur Kolom K2 .....	458
4.5.2.2.	Perhitungan Penulangan Geser Kolom K2 . .....	491
4.5.2.3.	Perhitungan Sambungan Lewatan Tulangan Vertikal Kolom.....	497
4.5.2.4.	Panjang Penyaluran Tulangan Kolom ..	497
4.6.	Hubungan Balok-Kolom untuk SRPMM.....	499
4.7.	Perhitungan Sambungan pada Atap Rangka Baja .... .....	505
4.7.1.	Sambungan A(Kuda-Kuda dengan Kolom)..	505
4.7.2.	Sambungan B (Kuda-Kuda) .....	511
4.7.3.	Sambungan C (Plat Landas).....	517
4.8.	Metode Pelaksanaan Kolom .....	521

4.8.1.	Pekerjaan Penulangan .....	521
4.8.2.	Pekerjaan Bekisting .....	524
4.8.3.	Pekerjaan Pengecoran.....	525
4.8.4.	Pekerjaan Pembongkaran Bekisting .....	527
4.9.	Perhitungan Volume .....	529
4.9.1.	Perhitungan Volume Penulangan .....	529
4.9.1.1.	Lantai Dasar .....	529
4.9.1.2.	Lantai 1,2, dan 3 (Typikal) .....	534
4.9.1.3.	Di Bawah Sloof.....	539
4.9.1.4.	Kolom lift atap .....	544
4.9.1.5.	Rekapitulasi Volume Penulangan Kolom.... .....	546
4.9.2.	Perhitungan Volume Cor Beton.....	548
4.9.3.	Perhitungan Volume Bekisting .....	549
4.10.	Perhitungan Durasi Pekerjaan.....	550
4.10.1.	Lantai Dasar .....	550
4.10.1.1.	Pekerjaan Pembesian .....	550
4.10.1.2.	Pekerjaan Bekisting.....	554
4.10.1.3.	Pekerjaan Pengecoran.....	555
4.10.2.	Lantai 1.....	556
4.10.2.1.	Pekerjaan Pembesian .....	556
4.10.2.2.	Pekerjaan Bekisting.....	558
4.10.2.3.	Pekerjaan Pengecoran.....	559
4.10.3.	Lantai 2.....	559

4.10.3.1.	Pekerjaan Pembesian .....	559
4.10.3.2.	Pekerjaan Bekisting.....	561
4.10.3.3.	Pekerjaan Pengecoran.....	562
4.10.4.	Lantai 3.....	562
4.10.4.1.	Pekerjaan Pembesian .....	562
4.10.4.2.	Pekerjaan Bekisting.....	564
4.10.4.3.	Pekerjaan Pengecoran.....	565
4.10.5.	Atap .....	566
4.10.5.1.	Pekerjaan Pembesian .....	566
4.10.5.2.	Pekerjaan Bekisting.....	568
4.10.5.3.	Pekerjaan Pengecoran.....	569
4.10.6.	Di bawah sloof.....	569
4.10.6.1.	Pekerjaan Pembesian .....	569
4.10.6.2.	Pekerjaan Bekisting.....	573
4.10.6.3.	Pekerjaan Pengecoran.....	573
4.10.7.	Rekapitulasi Durasi Pelaksanaan Pekerjaan Kolom .....	574
BAB V	.....	577
5.1.	Kesimpulan .....	577
5.2.	Saran.....	582
DAFTAR PUSTAKA	.....	583
BIODATA PENULIS		
LAMPIRAN		

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1.</b> Geser Desain untuk Rangka Momen Menengah...	14
<b>Gambar 2.2</b> Lebar Efektif untuk Penempatan Tulangan pada Sambungan Tepi dan Sudut.....	15
<b>Gambar 2.3</b> Lokasi Tulangan pada Slab .....	16
<b>Gambar 2.4</b> Penempatan Tulangan pada Slab .....	16
<b>Gambar 2.8</b> Spektrum Respons Desain .....	26
<b>Gambar 4.1.</b> Pemodelan Perletakan Tangga .....	82
<b>Gambar 4.2.</b> Potongan 1 Tangga .....	84
<b>Gambar 4.3.</b> Pemodelan Gording .....	87
<b>Gambar 4.4.</b> Gaya-Gaya yang Bekerja pada Gording .....	87
<b>Gambar 4.5.</b> Tekanan Angin yang Bekerja pada Bangunan.....	90
<b>Gambar 4.6.</b> Pemodelan Perletakan pada Gording .....	91
<b>Gambar 4.7.</b> Bidang Momen yang Terjadi Akibat Beban Mati Arah X.....	91
<b>Gambar 4.8.</b> Bidang Momen yang Terjadi Akibat Beban Mati Arah Y .....	92
<b>Gambar 4.9.</b> Bidang Momen yang Terjadi Akibat Beban Hujan Arah X.....	92
<b>Gambar 4.10.</b> Bidang Momen yang Terjadi Akibat Beban Hujan Arah Y .....	93
<b>Gambar 4.11.</b> Bidang Momen yang Terjadi Akibat Beban Hidup Terpusat Arah X.....	93
<b>Gambar 4.12.</b> Bidang Momen yang Terjadi Akibat Beban Hidup Terpusat Arah Y .....	94
<b>Gambar 4.13.</b> Gambar Gording Tampak Atas .....	101
<b>Gambar 4.14.</b> Uraian Gaya untuk Mencari Wu .....	102
<b>Gambar 4.15.</b> Uraian Gaya pada Gording .....	102
<b>Gambar 4.16.</b> Pemodelan Ikatan Angin Atap .....	104
<b>Gambar 4.17.</b> Ketinggian yang Dicari .....	105

<b>Gambar 4.18.</b> Gaya yang Bekerja pada Ikatan Angin .....	105
<b>Gambar 4.19.</b> Gaya pada Batang 1 .....	107
<b>Gambar 4.20.</b> Gaya pada Batang 2 .....	107
<b>Gambar 4.21.</b> Gaya pada Batang 3 .....	108
<b>Gambar 4.22.</b> Faktor Tekuk $k$ .....	113
<b>Gambar 4.21.</b> Tekanan Angin yang Bekerja pada Bangunan..	117
<b>Gambar 4.22.</b> Pemodelan Perletakan pada regel .....	118
<b>Gambar 4.23.</b> Bidang Momen yang Terjadi Akibat Beban Mati Arah X .....	119
<b>Gambar 4.24.</b> Bidang Momen yang Terjadi Akibat Beban Mati Arah Y .....	119
<b>Gambar 4.25.</b> Bidang Momen yang Terjadi Akibat Beban Hujan Arah X .....	120
<b>Gambar 4.26.</b> Bidang Momen yang Terjadi Akibat Beban Hujan Arah Y .....	120
<b>Gambar 4.27.</b> Bidang Momen yang Terjadi Akibat Beban Hidup Terpusat Arah X .....	121
<b>Gambar 4.28.</b> Bidang Momen yang Terjadi Akibat Beban Hidup Terpusat Arah Y .....	121
<b>Gambar 4.29.</b> Faktor Tekuk $k$ .....	132
<b>Gambar 4.30.</b> Perletakan Momen pada Pelat dan Diagram Momen yang Terjadi pada Pelat.....	149
<b>Gambar 4.32.</b> Momen pada Plat (Beton Bertulang Indonesia 1971 (PBBI 1971) Pasal 13.3. Tabel 13.3.(1) halaman 202).....	151
<b>Gambar 4.33.</b> Potongan Memanjang Pelat .....	153
<b>Gambar 4.34.</b> Momen pada Plat 1 arah (SNI 03-2847-213 Pasal 8.3.3).....	161
<b>Gambar 4.35.</b> Potongan Memanjang Pelat .....	162
<b>Gambar 4.36.</b> Potongan Pelat Tangga.....	172
<b>Gambar 4.37.</b> Pemodelan Tangga.....	172
<b>Gambar 4.38.</b> Tinggi Efektif Balok .....	188
<b>Gambar 4.39.</b> Gaya Lintang Rencana Komponen Balok pada SRPMM.....	191

<b>Gambar 4.40.</b> Luasan $A_{cp}$ dan $P_{cp}$ .....	191
<b>Gambar 4.40.</b> Pembagian Wilayah Geser pada Balok .....	215
<b>Gambar 4.41.</b> Panjang Penyaluran Batang Ulir dan Kawat Ulir .....	222
<b>Gambar 4.42.</b> Detail Batang Tulangan Berkait untuk Penyaluran Kait Standart.....	223
<b>Gambar 4.43.</b> Denah Pembalokan Lantai .....	227
<b>Gambar 4.44.</b> Tinggi Efektif Balok .....	229
<b>Gambar 4.45.</b> Diagram Torsi Balok.....	230
<b>Gambar 4.46.</b> Diagram Momen Lentur Tumpuan Kiri Balok Induk B1 30/50.....	230
<b>Gambar 4.47.</b> Diagram Momen Lentur Tumpuan Kanan Balok Induk B1 30/50.....	230
<b>Gambar 4.48.</b> Diagram Momen Lentur Lapangan Balok Induk B1 30/50 .....	230
<b>Gambar 4.49.</b> Diagram Geser pada Tumpuan .....	231
<b>Gambar 4.50.</b> Gaya Lintang Rencana Komponen Balok pada SRPMM.....	232
<b>Gambar 4.51.</b> Luasan $A_{cp}$ dan $P_{cp}$ .....	232
<b>Gambar 4.52.</b> Pembagian Wilayah Geser pada Balok .....	256
<b>Gambar 4.53.</b> Panjang Penyaluran Batang Ulir dan Kawat Ulir .....	264
<b>Gambar 4.54.</b> Detail Batang Tulangan Berkait untuk Penyaluran Kait Standart.....	266
<b>Gambar 4.55.</b> Denah Pembalokan Lantai .....	269
<b>Gambar 4.56.</b> Tinggi Efektif Balok .....	271
<b>Gambar 4.57.</b> Diagram Torsi Balok.....	272
<b>Gambar 4.58.</b> Diagram Momen Lentur Tumpuan Kiri Balok Induk B2 20/35.....	272
<b>Gambar 4.59.</b> Diagram Momen Lentur Tumpuan Kanan Balok Induk B2 20/35.....	272



<b>Gambar 4.60.</b> Diagram Momen Lentur Lapangan Balok Induk B2 20/35 .....	272
<b>Gambar 4.61.</b> Diagram Geser pada Tumpuan .....	273
<b>Gambar 4.62.</b> Gaya Lintang Rencana Komponen Balok pada SRPMM.....	274
<b>Gambar 4.63.</b> Luasan $A_{cp}$ dan $P_{cp}$ .....	274
<b>Gambar 4.64.</b> Pembagian Wilayah Geser pada Balok .....	300
<b>Gambar 4.65.</b> Panjang Penyaluran Batang Ulir dan Kawat Ulir .....	307
<b>Gambar 4.66.</b> Detail Batang Tulangan Berkait untuk Penyaluran Kait Standart.....	310
<b>Gambar 4.67.</b> Denah Pembalokan Lantai .....	313
<b>Gambar 4.68.</b> Tinggi Efektif Balok .....	315
<b>Gambar 4.69.</b> Diagram Torsi Balok.....	316
<b>Gambar 4.70.</b> Diagram Momen Lentur Tumpuan Kiri Balok Anak B4 20/35 .....	316
<b>Gambar 4.71.</b> Diagram Momen Lentur Tumpuan Kanan Balok Anak B4 20/35 .....	316
<b>Gambar 4.72.</b> Diagram Momen Lentur Lapangan Balok Anak B4 20/35 .....	316
<b>Gambar 4.73.</b> Diagram Geser pada Tumpuan .....	317
<b>Gambar 4.74.</b> Gaya Lintang Rencana Komponen Balok pada SRPMM.....	318
<b>Gambar 4.75.</b> Luasan $A_{cp}$ dan $P_{cp}$ .....	318
<b>Gambar 4.76.</b> Pembagian Wilayah Geser pada Balok .....	340
<b>Gambar 4.76.</b> Panjang Penyaluran Batang Ulir dan Kawat Ulir .....	346
<b>Gambar 4.77.</b> Detail Batang Tulangan Berkait untuk Penyaluran Kait Standart.....	348
<b>Gambar 4.78.</b> Denah Pembalokan Lantai .....	351
<b>Gambar 4.79.</b> Tinggi Efektif Balok .....	353
<b>Gambar 4.80.</b> Diagram Torsi Balok.....	354

<b>Gambar 4.81.</b> Diagram Momen Lentur Tumpuan Kiri Balok Lift B5 40/70 (Kombinasi 1,2D+1,6L+0,5Lr) .....	354
<b>Gambar 4.82.</b> Diagram Momen Lentur Tumpuan Kanan Balok Lift B5 40/70 (Kombinasi 1,2D+1,6L+0,5Lr) .....	354
<b>Gambar 4.83.</b> Diagram Momen Lentur Lapangan Balok Anak Lift B5 40/70 (Kombinasi 1,2D+1,6L+0,5Lr) .....	354
<b>Gambar 4.84.</b> Diagram Momen Lentur Tumpuan Kiri Balok Lift B5 40/70 (Kombinasi 1,2D+1,6L+0,5W) .....	354
<b>Gambar 4.85.</b> Diagram Momen Lentur Tumpuan Kanan Balok Lift B5 40/70 (Kombinasi 1,2D+1,6L+0,5W) .....	355
<b>Gambar 4.86.</b> Diagram Momen Lentur Lapangan Balok Lift B5 40/70 (Kombinasi 1,2D+1,6L+0,5W) .....	355
<b>Gambar 4.87.</b> Diagram Geser pada Tumpuan .....	355
<b>Gambar 4.88.</b> Gaya Lintang Rencana Komponen Balok pada SRPMM.....	357
<b>Gambar 4.89.</b> Luasan $A_{cp}$ dan $P_{cp}$ .....	357
<b>Gambar 4.90.</b> Pembagian Wilayah Geser pada Balok.....	379
<b>Gambar 4.91.</b> Panjang Penyaluran Batang Ulir dan Kawat Ulir .....	385
<b>Gambar 4.92.</b> Detail Batang Tulangan Berkait untuk Penyaluran Kait Standart.....	387
<b>Gambar 4.94.</b> Tinggi Efektif Balok Tarik.....	392
<b>Gambar 4.95.</b> Diagram Torsi Balok.....	393
<b>Gambar 4.96.</b> Diagram Momen Lentur Tumpuan Kiri Sloof S1 30/50.....	393
<b>Gambar 4.97.</b> Diagram Momen Lentur Tumpuan Kanan Sloof S1 30/50.....	393
<b>Gambar 4.98.</b> Diagram Momen Lentur Lapangan Sloof S1 30/50 .....	393
<b>Gambar 4.99.</b> Diagram Geser pada Tumpuan .....	394
<b>Gambar 4.100.</b> Gaya Lintang Rencana Komponen Balok pada SRPMM.....	395

<b>Gambar 4.101.</b> Luasan $A_{cp}$ dan $P_{cp}$ .....	395
<b>Gambar 4.102.</b> Pembagian Wilayah Geser pada Balok .....	416
<b>Gambar 4.103.</b> Panjang Penyaluran Batang Ulir dan Kawat Ulir .....	422
<b>Gambar 4.104.</b> Detail Batang Tulangan Berkait untuk Penyaluran Kait Standart.....	424
<b>Gambar 4.105.</b> Tinggi Efektif Kolom.....	428
<b>Gambar 4.106.</b> Denah Kolom yang Ditinjau .....	428
<b>Gambar 4.107.</b> Gaya Aksial Kolom Kombinasi Beban 1,2D ..	429
<b>Gambar 4.108.</b> Gaya Aksial Kolom Kombinasi Beban 1,2D+1,6L+0,5Lr .....	429
<b>Gambar 4.109.</b> Gaya Aksial Kolom Kombinasi Beban 1,2D+1,0L+1,0E <sub>x</sub> +0,3E <sub>y</sub> .....	429
<b>Gambar 4.110.</b> Gaya Aksial Kolom Kombinasi Beban 1,2D+1,0L+0,3E <sub>x</sub> +1,0E <sub>y</sub> .....	429
<b>Gambar 4.111.</b> Momen Arah Sumbu X Kombinasi Beban 1,2D+1,6L+0,5Lr .....	430
<b>Gambar 4.112.</b> Momen Arah Sumbu X Kombinasi Beban 1,2D+1,6L+0,5Lr .....	430
<b>Gambar 4.113.</b> Momen Arah Sumbu Y Kombinasi Beban 1,2D+1,6L+0,5Lr .....	430
<b>Gambar 4.114.</b> Momen Arah Sumbu Y Kombinasi Beban 1,2D+1,6L+0,5Lr .....	430
<b>Gambar 4.115.</b> Faktor Panjang Efektif (k).....	435
<b>Gambar 4.116.</b> Kondisi <i>balance</i> .....	439
<b>Gambar 4.117.</b> Kondisi Tekan Menentukan .....	441
<b>Gambar 4.116.</b> Kondisi <i>balance</i> .....	446
<b>Gambar 4.117.</b> Kondisi Tekan Menentukan .....	448
<b>Gambar 4.118.</b> Penampang Kolom K1 .....	450
<b>Gambar 4.119.</b> Hasil Diagram Interaksi Kolom K1 40 x 40 (PCAColoumn).....	450
<b>Gambar 4.120.</b> Hasil Output pada PCAColoumn .....	451
<b>Gambar 4.121.</b> Gaya Lintang Rencana untuk SRPMM.....	452

<b>Gambar 4.122.</b> Gaya Lintang Rencana untuk SRPMM.....	453
<b>Gambar 4.123.</b> Tinggi Efektif Kolom.....	459
<b>Gambar 4.124.</b> Denah Kolom yang Ditinjau .....	459
<b>Gambar 4.125.</b> Gaya Aksial Kolom Kombinasi Beban 1,2D ..	460
<b>Gambar 4.126.</b> Gaya Aksial Kolom Kombinasi Beban 1,2D+1,6L+0,5Lr .....	460
<b>Gambar 4.127.</b> Gaya Aksial Kolom Kombinasi Beban 1,2D+1,0L+1,0E <sub>x</sub> +0,3E <sub>y</sub> .....	460
<b>Gambar 4.128.</b> Gaya Aksial Kolom Kombinasi Beban 1,2D+1,0L+0,3E <sub>x</sub> +1,0E <sub>y</sub> .....	460
<b>Gambar 4.129.</b> Momen Arah Sumbu X Kombinasi Beban 1,2D+1,6L+0,5Lr .....	461
<b>Gambar 4.130.</b> Momen Arah Sumbu X Kombinasi Beban 1,2D+1,6L+0,5Lr .....	461
<b>Gambar 4.131.</b> Momen Arah Sumbu Y Kombinasi Beban 1,2D+1,6L+0,5Lr .....	461
<b>Gambar 4.132.</b> Momen Arah Sumbu Y Kombinasi Beban 1,2D+1,6L+0,5Lr .....	461
<b>Gambar 4.133.</b> Faktor Panjang Efektif (k).....	465
<b>Gambar 4.116.</b> Kondisi <i>balance</i> .....	469
<b>Gambar 4.117.</b> Kondisi Tekan Menentukan .....	471
<b>Gambar 4.117.</b> Kondisi <i>balance</i> .....	476
<b>Gambar 4.118.</b> Kondisi Tekan Menentukan .....	478
<b>Gambar 4.134.</b> Hasil Diagram Interaksi Kolom K2 40 x 40 (PCAColoumn).....	480
<b>Gambar 4.135.</b> Hasil Analisis Kolom K2 dengan pcaColoumn .....	480
<b>Gambar 4.136.</b> Penampang Kolom K2 .....	482
<b>Gambar 4.117.</b> Kondisi <i>balance</i> .....	483
<b>Gambar 4.116.</b> Kondisi Tekan Menentukan .....	485
<b>Gambar 4.117.</b> Kondisi <i>balance</i> .....	487
<b>Gambar 4.116.</b> Kondisi Tekan Menentukan .....	489

<b>Gambar 4.137.</b> Gaya Lintang Rencana untuk SRPMM.....	492
<b>Gambar 4.122.</b> Gaya Lintang Rencana untuk SRPMM.....	492
<b>Gambar 4.138.</b> Gambar Hubungan Balok-Kolom yang Akan Ditinjau.....	499
<b>Gambar 4.139.</b> Gambar Rencana Perhitungan Sambungan pada Atap Rangka Atap Baja.....	505
<b>Gambar 4.140.</b> Rencana Sambungan pada Kuda-Kuda dan Kolom.....	505
<b>Gambar 4.141.</b> Pemodelan momen yang terjadi akibat sambungan.....	509
<b>Gambar 4.142.</b> Rencana Sambungan pada Kuda-Kuda.....	511
<b>Gambar 4.143.</b> Pemodelan momen yang terjadi akibat sambungan.....	515

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Kategori Resiko Bangunan Gedung dan Non Gedung untuk Beban Gempa (SNI 1726 – 2012 Tabel 1) .....	6
<b>Tabel 2.2</b> Klasifikasi Situs (SNI 1726 – 2012 Tabel 3).....	7
<b>Tabel 2.3</b> Koefisien situs, $F_a$ (SNI 1726 – 2012 Tabel 4).....	7
<b>Tabel 2.4</b> Koefisien situs, $F_v$ (SNI 1726 – 2012 Tabel 5).....	8
<b>Tabel 2.5</b> Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode Pendek .....	9
<b>Tabel 2.6</b> Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode 1 Detik .....	9
<b>Tabel 2.7.</b> Simpangan Antarlantai Ijin, $\Delta_{a,b}$ (SNI 1726 – 2012 Tabel 16) .....	19
<b>Tabel 2.8.</b> Nilai $h_{qx}$ setiap lantai .....	20
<b>Tabel 2.9.</b> Nilai simpangan setiap lantai.....	21
<b>Tabel 2.10.</b> Faktor Keutamaan Gempa (SNI 1726 – 2012 Tabel 2).....	23
<b>Tabel 2.11</b> Koefisien situs, $F_a$ (SNI 1726 – 2012 Tabel 4).....	25
<b>Tabel 2.12.</b> Koefisien Situs, $F_v$ (SNI 1726 – 2012 Tabel 4).....	25
<b>Tabel 2.13</b> Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode Pendek (SNI 1726 – 2012 Tabel 6) .....	28
<b>Tabel 2.14</b> Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode 1 Detik (SNI 1726 – 2012 Tabel 7) .....	28
<b>Tabel 2.15</b> Syarat Desain Struktural yang Disarankan Berdasarkan Kategori Desain Seismik .....	29
<b>Tabel 2.16</b> Faktor $R$ , $C_d$ , dan $\Omega_0$ untuk Sistem Penahan Gaya Gempa (SNI 1726 – 2012 Tabel 9) .....	29
<b>Tabel 2.17.</b> Nilai Parameter Periode Pendektan $C_t$ dan $x$ (SNI 1726 – 2012 Tabel 15).....	31

<b>Tabel 3.1.</b> Tebal Minimum Balok Non-Prategang atau Pelat Satu Arah Bila Lendutan Tidak Dihitung.....	36
<b>Tabel 3.2.</b> Tebal Minimum Pelat Tanpa Balok Interior.....	37
<b>Tabel 4.1.</b> Rekapitulasi Momen Ultimate Gording.....	95
<b>Tabel 4.2.</b> Rekapitulasi Lendutan yang Terjadi pada Gording ...	99
<b>Tabel 4.3.</b> Rekapitulasi Momen yang Terjadi pada Kuda-Kuda Akibat Kombinasi beban $1,2D+1,6L+0,5Lr$ .....	110
<b>Tabel 4.4.</b> Rekapitulasi Momen Ultimate Regel.....	123
<b>Tabel 4.5.</b> Rekapitulasi Lendutan yang Terjadi pada Regel .....	127
<b>Tabel 4.6.</b> Rekapitulasi Momen yang Terjadi pada Kolom Akibat Kombinasi beban $1,2D+1,6L+0,5Lr$ .....	129
<b>Tabel 4.7.</b> Besar $H_x$ per Lantai.....	142
<b>Tabel 4.8.</b> Perhitungan Gaya Gempa per Lantai untuk Portal Memanjang As 3 A-Z.....	143
<b>Tabel 4.9.</b> Rekapitulasi Gaya Gempa per Lantai untuk Portal Memanjang As 3 A-Z (kg) .....	144
<b>Tabel 4.10.</b> Rekapitulasi Pusat Massa dan Pusat Kekakuan Struktur.....	145
<b>Tabel 4.11.</b> Rekapitulasi Eksentrisitas Struktur per Lantai.....	145
<b>Tabel 4.12.</b> Rekapitulasi Momen pada Pelat Type 1 (SNI 2847:2013) .....	151
<b>Tabel 4.13.</b> Rekapitulasi Momen pada Pelat Type 1 (PBI 1971) .....	152
<b>Tabel 4.14.</b> Rekapitulasi Penulangan Plat Type 1 As A-B 7-6.	159
<b>Tabel 4.15.</b> Rekapitulasi Penulangan Plat Type 2 As A-B 6-5.	166
<b>Tabel 4.16.</b> Rekapitulasi Tulangan Utama Pelat.....	167
<b>Tabel 4.17.</b> Rekapitulasi Tulangan Susut Pelat .....	167
<b>Tabel 4.18.</b> Tabel Cross Plat Tangga Type 1.....	175
<b>Tabel 4.19.</b> Hasil Output SAP 2000 Balok Bordes (Frame 68)	189
<b>Tabel 4.20.</b> Alat dan Bahan yang Digunakan dalam Pekerjaan Penulangan Kolom .....	522
<b>Tabel 4.21.</b> Alat dan Bahan yang Digunakan dalam Pekerjaan Bekisting Kolom .....	524

<b>Tabel 4.22.</b> Alat dan Bahan yang Digunakan dalam Pekerjaan Pengecoran Kolom .....	526
<b>Tabel 4.23.</b> Alat dan Bahan yang Digunakan dalam Pekerjaan Pembongkaran Bekisting Kolom.....	528
<b>Tabel 4.24.</b> Rekapitulasi Volume Penulangan.....	546
<b>Tabel 4.25.</b> Jumlah Tulangan Yang Dibutuhkan .....	547
<b>Tabel 4.26.</b> Rekapitulasi Jumlah Bengkokan dan Kaitan .....	548
<b>Tabel 4.27.</b> Rekapitulasi Perhitungan Volume Cor Beton.....	549
<b>Tabel 4.28.</b> Rekapitulasi Perhitungan Volume Bekisting.....	550
<b>Tabel 4.29.</b> Jam kerja buruh yang dibutuhkan untuk memasang 100 buah batang tulangan.....	551
<b>Tabel 4.30.</b> Jam kerja buruh yang dibutuhkan untuk memasang 100 buah batang tulangan.....	552
<b>Tabel 4.31.</b> Keperluan tenaga buruh untuk pekerjaan cetakan beton .....	554
<b>Tabel 4.29.</b> Jam kerja buruh yang dibutuhkan untuk memasang 100 buah batang tulangan.....	570
<b>Tabel 4.30.</b> Jam kerja buruh yang dibutuhkan untuk memasang 100 buah batang tulangan.....	571
<b>Tabel 4.32.</b> Rekapitulasi Durasi Pelaksanaan Pekerjaan Kolom .....	574
<b>Tabel 5.1.</b> Penulangan Utama Pelat Lantai.....	577
<b>Tabel 5.2.</b> Penulangan Plat Tangga dan Bordes .....	578
<b>Tabel 5.3.</b> Penulangan Balok .....	579
<b>Tabel 5.4.</b> Panjang Penyaluran Balok.....	580
<b>Tabel 5.5.</b> Penulangan Kolom .....	581
<b>Tabel 5.6.</b> Sambungan pada Atap Rangka Baja.....	581





## DAFTAR NOTASI

$A_{cp}$	= Luas yang dibatasi oleh keliling luar penampang beton ( $\text{mm}^2$ ).
$A_g$	= Luas bruto penampang ( $\text{mm}^2$ ).
$A_n$	= Luas bersih penampang ( $\text{mm}^2$ ).
$A_o$	= Luas bruto yang dibatasi oleh lintasan aliran geser ( $\text{mm}^2$ ).
$A_s$	= Luas tulangan tarik non prategang ( $\text{mm}^2$ ).
$A_s'$	= Luas tulangan tekan non prategang ( $\text{mm}^2$ ).
$A_y$	= Luas tulangan geser pada daerah sejarak $s$ atau Luas tulangan geser yang tegak lurus terhadap tulangan lentur tarik dalam suatu daerah sejarak $s$ pada komponen struktur lentur tinggi ( $\text{mm}^2$ ).
$b$	= Lebar daerah tekan komponen struktur ( $\text{mm}^2$ ).
$b_o$	= Keliling dari penampang kritis yang terdapat tegangan geser maksimum pada pondasi ( $\text{mm}$ ).
$b_w$	= Lebar badan balok atau diameter penampang bulat ( $\text{mm}$ ).
$C$	= Jarak dari serat tekan terluar ke garis netral ( $\text{mm}$ ).
$C_c'$	= Gaya pada tulangan tekan.
$C_s'$	= Gaya tekan pada beton.
$d$	= Jarak dari serat tekan terluar ke pusat tulangan tarik ( $\text{mm}$ ).
$d'$	= Jarak dari serat tekan terluar ke pusat tulangan tekan ( $\text{mm}$ ).

db	= Diameter nominal batang tulangan,kawat atau strand prategang ( mm ).
D	= Beban mati atau momen dangaya dalam yang berhubungan dengan beban mati.
e	= Eksentrisitas dari pembebanan tekan pada kolom atau setapak pondasi.
ex	= Jarak kolom ke pusat kekakuan arah x.
ey	= Jarak kolom ke pusat kekakuan arah y.
Ex	= Pengaruh beban gempa atau momen dan gaya dalam yang berhubungan dengan gempa x.
Ey	= Pengaruh beban gempa atau momen dan gaya dalam yang berhubungan dengan gempa y.
Ec	= Modulus elastisitas beton ( Mpa ).
lb	= Momen inersia terhadap sumbu pusat penampang bruto balok.
lp	= Momen inersia terhadap sumbu pusat penampang bruto pelat.
fc'	= Kuat tekan beton yang diisyaratkan ( Mpa ).
fy	= Kuat leleh yang diisyaratkan untuk tulangan non prategang ( Mpa ).
fvy	= Kuat leleh tulangan torsi longitudinal ( Mpa ).
h	= Tinggi total dari penampang.
Mu	= Momen terfaktor dari penampang.
Mnc	= Kekuatan momen nominal untuk alok yang tak mempunyai tulangan tekan (Nmm).
Mn	= Kekuatan momen nominal jika batang dibebani lentur saja.
M1	= Momen ujung terfaktor yang lebih kecil pada komponen tekan; bernilai positif bila

	komponen struktur melengkung dengan kelengkungan tunggal, negatif bila struktur melengkung dengan kelengkungan ganda ( Nmm ).
M2	= Momen ujung terfaktor yang lebih besar pada komponen tekan; selalu bernilai positif ( Nmm ).
M1ns	= Nilai yang lebih kecil dari momen – momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat bebanyang tidak menimbulkan goyangan ke samping yang berarti, dihitung dengan analis konvensional ( orde pertama ). Bernilai positif bila komponen struktur melentur dalam kelengkungan tunggal, negatif bila melentur dalam kelengkungan ganda (Nmm).
M2ns	= Nilai yang lebih besar dari momen – momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat bebanyang tidak menimbulkan goyangan ke samping yang berarti, dihitung dengan analis rangka elastis konvensional ( Nmm ).
Nu	= Beban aksial terfaktor.
Pcp	= Keliling luar penampang beton ( mm ).
Pb	= Kuat beban aksial nominal pada kondisi regangan seimbang ( N ).
Pc	= Beban kritis ( N ).
Pu	= Beban aksial terfaktor pada eksentrisitas yang diberikan ( N ).
S	= Spasi tulangan geser atau torsi ke arah yang diberikan ( N ).

$T_n$	= Kuat momen torsi nominal ( Nmm ).
$T_u$	= Momen torsi terfaktor pada penampang (Nmm ).
$V_c$	= Kuat geser nominal yang disumbangkan oleh beton.
$V_s$	= Kuat geser nominal yang disumbangkan oleh tulangan geser ( N ).
$x$	= Dimensi pendek bagian berbentuk persegi dari penampang.
$\beta$	= Rasio bentang dalam arah memanjang terhadap arah memendek dari pelat dua arah.
$\beta_p$	= Faktor yang digunakan untuk menghitung $V_c$ dalam slab prategang.
$\delta_{ns}$	= Faktor pembesaran momen untuk rangka yang ditahan terhadap goyangan kesamping, untuk menggambarkan pengaruh kelengkungan komponen struktur diantara ujung – ujung komponen struktur tekan.
$\delta_s$	= Faktor pembesaran momen untuk rangka yang ditahan terhadap goyangan kesamping, untuk menggambarkan pengaruh penyimpangan lateral akibat beban lateral dan gravitasi.

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1. Latar Belakang**

Perencanaan struktur bangunan ruko empat lantai terletak di daerah Surabaya yang jenis tanahnya sedang dengan nilai rata-rata SPT  $\bar{N} = 22,32$  ( $15 < N < 50$ ). Bangunan ini termasuk dalam kategori resiko II. Bangunan ini terdiri dari empat lantai dengan panjang bangunan 166,70 meter dan lebar 21 meter dengan atap eksisting genteng metal, dan terdapat dua dilatasi yang ada bangunan. Kemudian untuk kebutuhan rencana perhitungan struktur, bangunan hanya dihitung strukturnya dari as A sampai as Y sehingga panjang bangunan menjadi 121,70 meter dengan lebar yang sama yaitu 21 meter, sehingga hanya terdapat satu dilatasi bangunan. Untuk atap direncanakan menggunakan rangka atap baja dengan penutup atap seng gelombang. Karena metode perhitungan yang digunakan adalah SRPMM, sedangkan daerah Surabaya tidak dapat menggunakan metode tersebut, maka untuk kebutuhan perhitungan digunakan data tanah daerah Malang untuk menyesuaikan metode perhitungan yang digunakan.

Berdasarkan SNI 1726 – 2012 struktur bangunan ini termasuk ke dalam kategori desain seismik C dengan jenis tanah sedang sehingga direncanakan menggunakan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) dimana komponen-komponen strukturnya dapat menahan gaya-gaya yang bekerja melalui aksi lentur, geser, dan aksial yang selain memenuhi ketentuan-ketentuan untuk rangka pemikul momen biasa juga memenuhi pasal 23.2 ((2) (3)) dan 23.10 dari SNI 03-2847-2013 untuk rangka pemikul momen menengah, sehingga struktur dapat merespon gempa kuat tanpa mengalami keruntuhan

seketika. Tujuannya agar kerusakan dipaksakan terjadi pada balok, sehingga apabila terjadi gempa dapat meminimalisir rusaknya struktur bangunan berupa keruntuhan geser terjadi sebelum keruntuhan lentur. Struktur atap rangka baja yang direncanakan sesuai dengan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) mengacu pada syarat-syarat yang telah ditentukan dalam SNI 1729 – 2015 tentang spesifikasi untuk bangunan gedung baja struktural.

### **1.2. Perumusan Masalah**

1. Bagaimana cara menghitung struktur bangunan dengan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) berdasarkan data tanah yang ada.
2. Bagaimana cara menghitung struktur atap rangka baja.
3. Bagaimana metode pelaksanaan pada pekerjaan kolom beton bertulang.

### **1.3. Batasan Masalah**

1. Perhitungan struktur tidak meninjau struktur bawah.
2. Perhitungan tidak dilakukan dalam segi manajemen konstruksi, biaya, dan arsitektural.
3. Perhitungan meninjau struktur portal, yaitu portal memanjang dan portal melintang.
4. Analisis beban gempa menggunakan analisis statik ekuivalen berdasarkan SNI 1726:2012 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung.

### **1.4. Tujuan**

#### **Tujuan Umum :**

1. Untuk mengetahui cara menghitung struktur bangunan dengan metode Sistem Rangka Pemikul

Momen Menengah (SRPMM) berdasarkan data tanah yang ada.

2. Untuk mengetahui metode pelaksanaan pada pekerjaan kolom beton bertulang.

#### **Tujuan Khusus :**

1. Pemenuhan syarat kelulusan diploma 3 Departemen Teknik Infrastruktur Fakultas Vokasi Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
2. Menjelaskan tata cara perhitungan struktur bangunan beton bertulang yang tahan gempa sesuai dengan SNI 2847:2013 Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung dan SNI 1726-2012 Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung.

### **1.5. Manfaat**

1. Dapat menerapkan perhitungan struktur dengan menggunakan metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah sesuai dengan SNI 2847-2013, SNI 1726-2012, dan SNI 1729 – 2015.
2. Dapat menganalisis kekuatan struktur terhadap kondisi desain seismik yang diijinkan dengan Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah sesuai dengan SNI 2847-2013 dan SNI 1729 – 2015.

### **1.6. Data yang Digunakan**

Luas Bangunan	: 21 meter x 121,70 meter
( Setiap <i>section</i> / bagian ruko memiliki luas bangunan 5,0 meter x 21 meter )	
Tinggi Bangunan	: ±16,00 meter
Mutu Beton	: K-300
Mutu Baja	: BJ 41
Mutu Baja Tulangan Lentur	: 400 Mpa
Mutu Baja Tulangan Geser	: 320 Mpa



Struktur Bangunan Atap	: Struktur atap rangka
baja.	
Jenis Rangka	: Rangka Kaku.
Penutup Atap	: Seng gelombang.
Struktur Bangunan Atas	: Balok, kolom, pelat, dan tangga yang menggunakan beton bertulang.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Tinjauan Umum**

Pada tahap perencanaan struktur bangunan, baik bangunan bawah (*sub structure*) maupun bangunan atas (*upper structure*), akan dilakukan tinjauan pustaka untuk mengetahui susunan fungsional gedung dengan sistem struktural gedung yang akan digunakan. Dalam perencanaan setiap elemen struktur harus ditunjang oleh dasar-dasar teori yang jelas dan standart yang berlaku agar hasilnya dapat dipertanggungjawabkan.

Struktur bangunan harus kokoh dan aman terhadap keruntuhan (kegagalan struktur) dan terhadap gaya-gaya yang disebabkan oleh angin dan gempa bumi. Maka setiap elemen struktur bangunan yang ditinjau disesuaikan dengan kriteria dan persyaratan yang ditentukan atau metode perhitungan yang digunakan. Fungsi utama dari struktur adalah dapat memikul secara aman dan efektif serta dapat menyalurkan beban yang bekerja ke tanah melalui pondasi.

Pada bab ini akan dijelaskan langkah-langkah perhitungan struktur atas (*upper structure*) dengan menggunakan metode sistem rangka pemikul momen menengah (SRPMM) yang sesuai dengan dasar-dasar peraturan yang ada, yaitu SNI 1726:2012 tentang Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung, SNI 2847:2013 tentang Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung, SNI 1727:2013 tentang Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain, SNI 1729 – 2015 tentang Spesifikasi Untuk Bangunan Gedung Baja Struktural, serta literatur lain yang relevan.

## 2.2. Tahap-Tahap Dalam Penentuan Metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah ( SRPMM)

Tahap-tahap dalam menentukan metode yang digunakan dalam perencanaan struktur bangunan ruko empat lantai di Surabaya adalah sebagai berikut :

1. Menentukan kategori resiko bangunan yang akan direncanakan

Karena bangunan yang direncanakan adalah ruko, maka sesuai dengan SNI 1726:2012 termasuk dalam kategori resiko II.

**Tabel 2.1** Kategori Resiko Bangunan Gedung dan Non Gedung untuk Beban Gempa (SNI 1726 – 2012 Tabel 1)

Jenis Pemanfaatan	Kategori Resiko
Semua gedung dan struktur lain, kecuali yang termasuk dalam kategori resiko I,III,IV, termasuk, tapi tidak dibatasi untuk : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Perumahan</li> <li>- Rumah toko dan rumah kantor</li> <li>- Pasar</li> <li>- Gedung perkantoran</li> <li>- Gedung apartemen/ rumah susun</li> <li>- Pusat perbelanjaan/ mall</li> <li>- Bangunan industri</li> <li>- Fasilitas manufaktur</li> <li>- Pabrik</li> </ul>	II

2. Menentukan kelas situs tanah

Karena data tanah yang didapatkan adalah data SPT (Standart Penetration Test) maka penyelidikan kelas situs tanah dapat dicari dengan menggunakan persamaan :

$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{N_i}}$$

Berdasarkan perhitungan didapatkan nilai  $\bar{N}$  adalah 22,32 maka termasuk kelas situs tanah sedang sesuai dengan SNI 1726:2012.

**Tabel 2.2** Klasifikasi Situs (SNI 1726 – 2012 Tabel 3)

Kelas Situs	$\bar{v}_s$ (m/detik)	$\bar{N}$ atau $\bar{N}_{ch}$	$\bar{S}_u$ (kPa)
<b>SD (tanah sedang)</b>	175 sampai 350	15 sampai 50	50 sampai 100

3. Menentukan Nilai  $S_s$  dan  $S_I$  berdasarkan Peta Hazzard  
 Berdasarkan peta Hazzard dengan periode gempa 2500 tahun nilai  $S_s$  dan  $S_I$  di Malang berturut-turut adalah 0,30 dan 0,12.
4. Menentukan Nilai  $S_{MS}$  dan  $S_{MI}$

**Tabel 2.3** Koefisien situs,  $F_a$  (SNI 1726 – 2012 Tabel 4)

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa (MCE <sub>R</sub> ) terpetakan pada perioda pendek, T= 0,2 detik, $S_s$				
	$S_s \leq 0,25$	$S_s = 0,5$	$S_s = 0,75$	$S_s = 1,0$	$S_s \geq 1,25$
<b>SD</b>	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0

**Tabel 2.4** Koefisien situs,  $F_v$  (SNI 1726 – 2012 Tabel 5)

Kelas Situs	Parameter respons spektral percepatan gempa ( $MCE_R$ ) terpetakan pada perioda 1,0 detik, $S_I$				
	$S_I \leq 0,1$	$S_I = 0,2$	$S_I = 0,3$	$S_I = 0,4$	$S_I \geq 0,5$
<b>SD</b>	2,4	2	1,8	1,6	1,5

Maka didapatkan nilai  $S_{MS}$  dan  $S_{MI}$ ,

$S_{MS} = F_a \times S_S$ , nilai  $F_a$  dapat dicari dengan cara interpolasi

$$F_a = 1,60 - \frac{0,3-0,25}{0,50-0,25} \times (1,6 - 1,4)$$

$$= 1,56 \text{ sehingga } S_{MS} \text{ dapat dihitung}$$

$$S_{MS} = 1,56 \times 0,30$$

$$= 0,468$$

$$S_{MI} = F_v \times S_I$$

$$= 2,0 \times 0,12$$

$$= 0,24$$

5. Menentukan Nilai  $S_{DS}$  dan  $S_{DI}$

Dari hasil perhitungan  $S_{MS}$  dan  $S_{MI}$ , maka dapat diketahui masing-masing nilai  $S_{DS}$  dan  $S_{DI}$  :

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \times S_{MS}$$

$$= 2/3 \times 0,468$$

$$= 0,312$$

$$S_{DI} = \frac{2}{3} \times S_{MI}$$

$$= 2/3 \times 0,24$$

$$= 0,16$$

## 6. Menentukan Kategori Desain Seismik

**Tabel 2.5** Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode Pendek

Nilai $S_{DS}$	Kategori Resiko	
	I atau II atau III	IV
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	C	D

**Tabel 2.6** Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode 1 Detik

Nilai $S_{DI}$	Kategori Resiko	
	I atau II atau III	IV
$0,133 \leq S_{DS} < 0,20$	C	D

7. Menentukan Metode Perhitungan yang Digunakan  
 Karena nilai  $S_{DS}$  dan  $S_{DI}$  memenuhi dalam kategori desain seismik C, maka metode yang digunakan dalam perencana struktur bangunan ruko empat lantai adalah SRPMM.

## 2.3. Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah

Sistem struktur yang pada dasarnya memiliki rangka ruang pemikul beban gravitasi secara lengkap, sedangkan beban lateral yang diakibatkan oleh gempa dipikul oleh rangka pemikul momen melalui mekanisme lentur. Sistem rangka pemikul momen menengah dirancang untuk memikul gaya-gaya yang terjadi akibat gempa untuk bangunan dengan kondisi desain seismik C.

Sifat-sifat dari sistem rangka pemikul momen menengah adalah sebagai berikut:

- Keruntuhan geser tidak boleh terjadi sebelum keruntuhan lentur yang artinya :
  - Keruntuhan geser bersifat mendadak (tidak memberi kesempatan pada penghuni untuk menyelamatkan diri).
  - Penulangan geser pada balok dan kolom dihitung berdasar kapasitas tulangan lentur terpasang (bukan dari hasil analisa struktur)
  - Balok dipaksa runtuh akibat lentur terlebih dahulu dengan membuat kuat geser melebihi kuat lentur
- *Strong column weak beam* (Kolom kuat balok lemah)
  - Kerusakan dipaksakan terjadi pada balok

### 2.3.1. Syarat-Syarat yang Dipakai Dalam Perhitungan

Syarat-syarat dan perumusan yang dipakai pada perencanaan komponen struktur dengan sistem rangka pemikul momen menengah menurut SNI-03-2847-2013 :

1. Detail penulangan komponen SRPMM harus memenuhi ketentuan-ketentuan pasal 21.3(4), bila beban aksial tekan terfaktor pada komponen struktur tidak melebihi  $(A_g f_c' / 10)$ . Bila beban aksial
2. tekan terfaktor pada komponen struktur melebihi  $(A_g f_c' / 10)$ , maka pasal 21.3(5) harus dipenuhi.. Bila konstruksi pelat dua arah tanpa balok digunakan sebagai bagian dari sistem rangka pemikul beban lateral, maka detail penulangannya harus memenuhi pasal 21.3(6).

3. Kuat geser rencana balok, kolom dan konstruksi pelat dua arah yang memikul beban gempa tidak boleh kurang daripada:
  - 1) Jumlah gaya lintang yang timbul akibat termobilisasinya kuat lentur nominal komponen struktur pada setiap ujung bentang bersihnya dan gaya lintang akibat beban gravitasi terfaktor., atau
  - 2) Gaya lintang maksimum yang diperoleh dari kombinasi beban rencana termasuk pengaruh beban gempa,  $E$ , dimana nilai  $E$  diambil sebesar dua kali nilai yang ditentukan dalam peraturan perencanaan tahan gempa.

### 2.3.2. Kekuatan Geser

$\phi V_n$  balok yang menahan pengaruh gempa,  $E$ , tidak boleh kurang dari yang lebih kecil dari :

- (a) Jumlah geser yang terkait dengan pengembangan  $M_n$  balok pada setiap ujung bentang bersih yang terkekang akibat lentur kurvatur balik dan geser yang dihitung untuk beban gravitasi terfaktor.
- (b) Geser maksimum yang diperoleh dari kombinasi beban desain yang melibatkan  $E$ , dengan  $E$  diasumsikan sebesar dua kali yang ditetapkan oleh tata cara bangunan umum yang diadopsi secara legal untuk desain tahan gempa.

$\phi V_n$  kolom yang menahan pengaruh gempa,  $E$ , tidak boleh kurang dari yang lebih kecil dari :

- (a) Geser yang terkait dengan pengembangan kekuatan momen nominal kolom pada



setiap ujung terkekang dari panjang yang tak tertumpu akibat lentur kulvatur balik. Kekuatan lentur kolom harus dihitung untuk gaya aksial terfaktor, konsisten dengan arah gaya lateral yang ditinjau, yang menghasilkan kekuatan tertinggi.

- (b) Geser maksimum yang diperoleh dari kombinasi beban desain yang melibatkan  $E$ , dengan  $E$  ditingkatkan  $\Omega_o$ .

### 2.3.3. Balok

Kuat lentur positif komponen struktur lentur pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari sepertiga kuat lentur negatifnya pada muka tersebut. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang disepanjang bentang tidak boleh kurang dari seperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka-muka kolom dikedua ujung komponen struktur tersebut. (Pasal 21.3.4.1 SNI 2847:2013)

Pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus dipasang sengkang sepanjang jarak dua kali tinggi komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama harus dipasang pada jarak tidak lebih daripada 50 mm dari muka perletakan. (Pasal 21.3.4.2 SNI 2847:2013)

Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi :

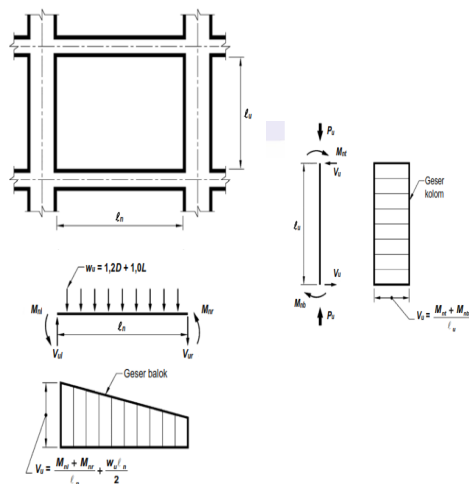
- ☐  $d/4$
- ☐ delapan kali diameter tulangan longitudinal terkecil
- ☐ 24 kali diameter sengkang
- ☐ 300 mm.

Senggang harus dipasang di sepanjang bentang balok dengan spasi tidak melebihi  $d/2$ . (Pasal 21.3.4.3 SNI 2847:2013).

### 2.3.4. Kolom

(a) Spasi maksimum sengkang ikat yang dipasang pada rentang  $\lambda_o$  dari muka hubungan balok-kolom adalah  $s_o$ . Spasi  $s_o$  tersebut tidak boleh melebihi (Pasal 21.3.5.2 SNI 2847:2013) :

- ☐ Delapan kali diameter tulangan longitudinal terkecil
- ☐ 24 kali diameter sengkang ikat
- ☐ setengah dimensi penampang terkecil komponen struktur
- ☐ 300 mm.



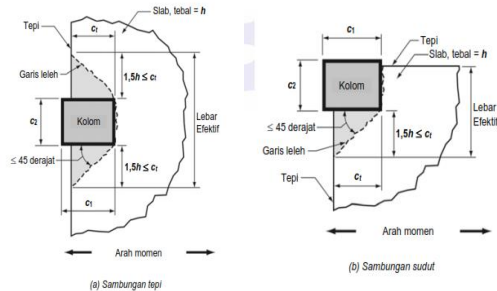
**Gambar 2.1.** Geser Desain untuk Rangka Momen Menengah

- (b) Panjang  $L_o$  tidak boleh kurang daripada nilai terbesar berikut ini (Pasal 21.3.5.2 SNI 2847:2013) :
  - ☐ seperenam tinggi bersih kolom
  - ☐ dimensi terbesar penampang kolom
  - ☐ 450 mm.
- (c) Sengkang tertutup pertama harus ditempatkan tidak lebih dari  $s_o/2$  dari muka joint.
- (d) Di luar panjang  $l_o$ , spasi tulangan transversal harus memenuhi pasal 7.10 dan 11.4.5.1 SNI 2847:2013.
- (e) Tulangan transversal joint harus memenuhi pasal 11.10 SNI 2847:2013.
- (f) Kolom yang menumpu reaksi dari komponen struktur kaku tak menerus, seperti dinding, harus disediakan dengan tulangan transversal dengan spasi,  $s_o$ , seperti didefinisikan dalam pasal 21.3.5.2 SNI 2847:2013, sepanjang tinggi penuh di bawah tingkat dimana diskontinuitas terjadi jika bagian gaya aksial terfaktor pada komponen struktur terkait dengan pengaruh gempa yang melebihi  $A_g f_c'/10$ . Bila gaya desain harus diperbesar untuk memerhitungkan kekuatan lebih elemen sistem penahan gaya gempa, batas  $A_g f_c'/10$  harus ditingkatkan menjadi  $A_g f_c'/4$ . Tulangan transversal ini harus menerus di atas dan di bawah kolom.

**2.3.5. Slab Dua Arah Tanpa Balok**

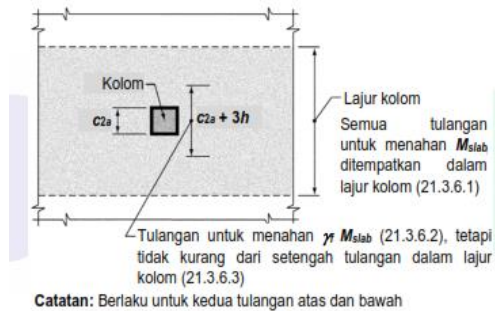
- (a) Momen slab terfaktor pada tumpuan termasuk pengaruh gempa  $E$ , harus ditentukan untuk

kombinasi beban yang diberikan. Tulangan yang disediakan untuk menahan  $M_{slab}$  harus ditempatkan dalam lajur kolom yang didefinisikan.



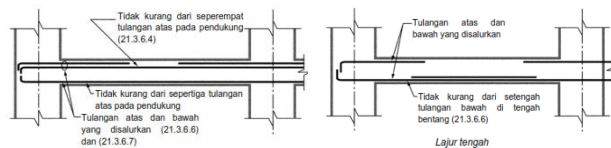
**Gambar 2.2** Lebar Efektif untuk Penempatan Tulangan pada Sambungan Tepi dan Sudut

- (b) Tulangan yang ditempatkan dalam lebar efektif yang ditetapkan, harus diproporsikan untuk menambah  $\gamma M_{slab}$ . Lebar slab efektif untuk sambungan eksterior dan sudut tidak boleh menerus melewati muka kolom dengan jarak lebih besar dari  $c_t$  yang diukur tegak lurus terhadap bentang slab.



**Gambar 2.3** Lokasi Tulangan pada Slab

- (c) Tidak kurang dari setengah tulangan pada lajur kolom di tumpuan harus ditempatkan dalam lebar slab efektif.



**Gambar 2.4** Penempatan Tulangan pada Slab

- (d) Tidak kurang dari seperempat tulangan atas di tumpuan pada lajur kolom harus menerus sepanjang bentang.
- (e) Tulangan bawah yang menerus pada lajur kolom tidak boleh kurang dari sepertiga tulangan atas di tumpuan pada lajur kolom.
- (f) Tidak kurang dari setengah dari semua tulangan lajur tengah bawah dan semua tulangan lajur kolom bawah di tengah bentang

harus menerus dan harus mengembangkan  $f_y$  di muka tumpuan.

- (g) Pada tepi yang tidak menerus, semua tulangan atas dan bawah pada tumpuan harus disalurkan di muka tumpuan.
- (h) Pada penampang kritis untuk kolom, geser dua arah yang diakibatkan oleh beban gravitasi terfaktor tidak boleh melebihi  $0,4\phi V_c$ , dimana  $V_c$  harus dihitung.

## **2.4. Pemisah Struktur (Dilatasi Pada Bangunan)**

Semua bagian struktur harus didesain dan dibangun untuk bekerja sebagai satu kesatuan yang terintegrasi dalam menahan gaya-gaya gempa kecuali jika dipisahkan secara struktural dengan jarak yang cukup memadai untuk menghindari benturan yang merusak. Kinerja batas layan struktur gedung ditentukan oleh simpangan antar-tingkat akibat pengaruh gempa rencana. Oleh karena itu diperlukan dilatasi atau pemisah bangunan.

Pada bangunan ruko perencanaan kami digunakan dilatasi yaitu berupa dilatasi dengan dua kolom, jarak antarkolom pada bagian dilatasi sendiri dapat dihitung dengan mengetahui simpangan antarlantai.

### **2.4.1. Penentuan Simpangan Antarlantai**

Penentuan simpangan antarlantai tingkat desain ( $\Delta$ ) harus dihitung sebagai perbedaan defleksi pada pusat massa di tingkat teratas dan terbawah yang ditinjau. Apabila pusat massa tidak terletak segaris dalam arah vertikal, diijinkan untuk menghitung defleksi di dasar tingkat berdasarkan proyeksi vertikal dari pusat massa tingkat diatasnya. Jika desain tegangan ijin digunakan,  $\Delta$  harus dihitung menggunakan

gaya gempa tingkat kekuatan yang ditetapkan dalam pasal 7.8 SNI 1726 – 2012 tanpa reduksi untuk desain tegangan ijin.

Bagi struktur yang dirancang untuk kategori desain seismik C, D, E, dan F yang memiliki ketidakberaturan (Tipe 1a atau 1b), simpangan antarlantai desain,  $\Delta$ , harus dihitung sebagai selisih terbesar dari defleksi titik-titik di atas dan di bawah tingkat yang diperhatikan yang letaknya segaris secara vertikal, di sepanjang salah satu bagian tepi struktur.

Defleksi pusat massa tingkat  $x$  ( $\delta_x$ ) (mm) harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut :

$$\delta_x = \frac{C_d \cdot \delta_{xe}}{I_e}$$

Keterangan :

$C_d$  = faktor amplifikasi defleksi (SRPMM = 4 ½ )

$\delta_{xe}$  = defleksi pada lokasi yang diisyaratkan dengan analisis elastis

$I_e$  = faktor keutamaan gempa (bangunan ruko = 1,0)

#### **2.4.2. Batasan Simpangan Antarlantai**

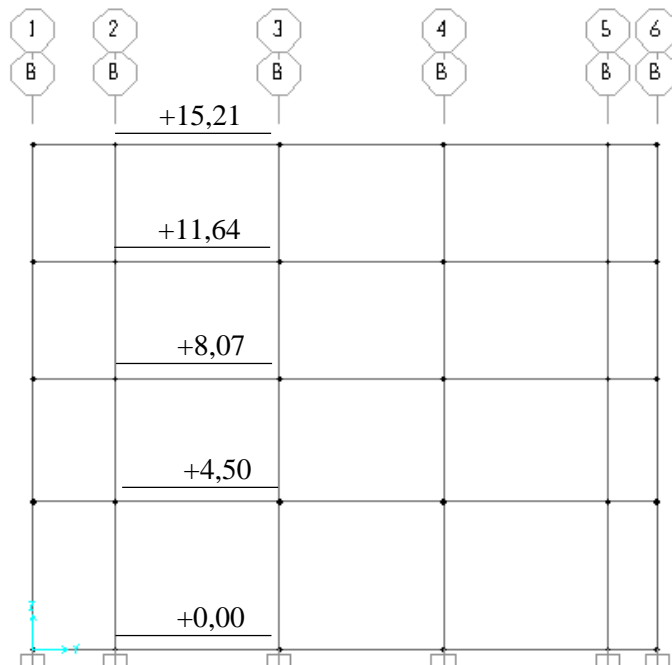
Simpangan antarlantai tingkat desain ( $\Delta$ ) seperti yang ditentukan dalam pasal 7.8.6, 7.9.2, atau 12.1, tidak boleh melebihi simpangan antarlantai tingkat ijin ( $\Delta_a$ ) seperti didapatkan dari tabel dibawah ini :

**Tabel 2.7.** Simpangan Antarlantai Ijin,  $\Delta_a^{a,b}$  (SNI 1726 – 2012 Tabel 16)

Struktur	Kategori Resiko		
	I atau II	III	IV
Struktur, selain dari struktur dinding geser batu bata, 4 tingkat atau kurang dengan dinding interior, partisi, langit-langit, dan sistem dinding eskterior yang telah didesain untuk mengakomodasi simpangan antarlantai tingkat.	$0,025h_{gx}^c$	$0,020h_{gx}$	$0,015h_{gx}$
Struktur dinding geser kantilever batu bata	$0,010h_{gx}$	$0,010h_{gx}$	$0,010h_{gx}$
Struktur dinding geser batu bata lainnya	$0,007h_{gx}$	$0,007h_{gx}$	$0,007h_{gx}$
Semua struktur lainnya	$0,020h_{gx}$	$0,015h_{gx}$	$0,010h_{gx}$



### 2.4.3. Jarak Dilatasi Kolom pada Perencanaan Struktur Bangunan



Digunakan persamaan simpangan antarlantai ijin untuk jarak dilatasi arah memanjang kolomnya yaitu sebesar :

**Tabel 2.8.** Nilai  $h_{qx}$  setiap lantai

$h_{qx}$	meter
1	4,50
2	8,07
3	11,64
4	15,21
5	17,21

Nilai  $\Delta_a$  adalah sebesar  $0,020 \cdot h_{qx}$  maka,

**Tabel 2.9.** Nilai simpangan setiap lantai

$h_{qx}$	meter	$\Delta_a$ (mm)
1	4,50	0,009
2	8,07	0,161
3	11,64	0,233
4	15,21	0,304
5	17,21	0,344

Diambil hasil simpangan terbesar yaitu sebesar 0,344 mm atau dibulatkan menjadi 0,350 mm adalah jarak antar kolom untuk dilakukan dilatasi bangunan.

## 2.5. Beban-Beban yang Bekerja Pada Struktur

### 2.5.1. Beban Mati

Beban mati adalah berat seluruh bahan konstruksi bangunan gedung yang terpasang, termasuk dinding, lantai, atap, plafon, tangga, dinding partisi tetap, *finishing*, klading gedung, dan komponen arsitektural dan struktural lainnya serta peralatan lain terpasang lain termasuk keran.

### 2.5.2. Beban Hidup

Beban hidup adalah beban yang diakibatkan oleh pengguna dan penghuni bangunan gedung atau struktur lain yang tidak termasuk beban konstruksi dan beban lingkungan, seperti beban angin, beban hujan, beban gempa, beban banjir, atau beban mati.

**2.5.3. Beban Angin****2.5.4. Beban Gempa****2.5.4.1. Gempa Rencana**

Tata cara ini menentukan pengaruh gempa rencana yang harus ditinjau dalam perencanaan dan evaluasi struktur bangunan gedung dan non gedung serta berbagai bagian dan peralatannya secara umum. Gempa rencana ditetapkan sebagai gempa dengan kemungkinan terlewat sebesar besarnya selama umur struktur bangunan 50 tahun adalah sebesar dua persen.

**2.5.4.2. Faktor Keutamaan dan Kategori Risiko Struktur Bangunan**

Untuk berbagai kategori risiko struktur bangunan gedung dan non gedung sesuai Tabel 1 pengaruh gempa rencana terhadapnya harus dikalikan dengan suatu faktor keutamaan  $I_e$  menurut Tabel 2. Khusus untuk struktur bangunan dengan kategori resiko IV, bila dibutuhkan pintu masuk untuk operasional dari struktur bangunan yang bersebelahan, maka struktur bangunan yang bersebelahan tersebut harus didesain sesuai dengan kategori resiko IV.

**Tabel 2.10.** Faktor Keutamaan Gempa  
(SNI 1726 – 2012 Tabel 2)

Kategori Resiko	Faktor Keutamaan Gempa, $I_e$
I atau II	1,0

### 2.5.4.3. Kombinasi Pembebanan yang Digunakan dalam Perhitungan

Kombinasi Pembebanan Ultimate :

1.  $1.40 D$
2.  $1.20 D + 1.60 L + 0.50 (L_R \text{ atau } R)$
3.  $1.20 D + 1.60 (L_R \text{ atau } R) + (L \text{ atau } 0.50 W)$
4.  $1.20 D + 1.00 W + 1.00 L + 0.50 (L_R \text{ atau } R)$
5.  $1.20 D + 1.00 E + 1.00 L$
6.  $0.90 D + 1.00 W$
7.  $0.90 D + 1.00 E$

Kombinasi Pembebanan dengan Tegangan Ijin :

1.  $1.00 D$
2.  $1.00 D + 1.00 L$
3.  $1.00 D + 1.00 (L_R \text{ atau } R)$
4.  $1.00 D + 0.75 L + 0.75 (L_R \text{ atau } R)$
5.  $1.00 D + (0.60 W \text{ atau } 0.70 E)$
6.  $1.00 D + 0.75 (0.60 W \text{ atau } 0.70 E) + 0.75 L + 0.75 (L_R \text{ atau } R)$
7.  $0.60 D + 0.60 W$
8.  $0.60 D + 0.70 E$

#### 2.5.4.4. Kelas Situs

Berdasarkan sifat-sifat tanah pada situs, maka situs harus diklasifikasi sebagai kelas situs *SA*, *SB*, *SC*, *SE*, atau *SF* yang mengikuti pasal 5.3. Bila sifat-sifat tanah tidak teridentifikasi secara jelas sehingga tidak bisa ditentukan kelas situsnya, maka kelas situs *SE* dapat digunakan kecuali jika pemerintah/ dinas yang berwenang memiliki data geoteknik yang dapat menentukan kelas situs *SF*.

Karena data tanah yang didapatkan berupa data SPT (*Standart Penetration Test*), maka untuk menentukan kelas situs dapat menggunakan persamaan :

$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{N_i}}$$

Parameter      respons      spektral  
percepatan gempa :

- a.)  $S_s$  = parameter respons spektral percepatan gempa pada periode pendek (Peta Hazzard Periode Gempa 500 Tahun)
- b.)  $S_I$  = parameter respons spektral percepatan gempa pada periode 1 detik (Peta Hazzard Periode Gempa 500 Tahun).

**2.5.4.5. Koefisien-Koefisien Situs Dan Parameter-Parameter Respons Spektral Percepatan Gempa Maksimum Yang Dipertimbangkan Risiko-Tertarget ( $Mce_r$ )**

a.)  $F_a$  adalah koefisien situs untuk pendek

**Tabel 2.11** Koefisien situs,  $F_a$  (SNI 1726 – 2012 Tabel 4)

**Kelas Situs**      **Parameter respons spektral percepatan gempa ( $MCE_R$ ) terpetakan pada perioda pendek,  $T = 0,2$  detik,  $S_S$**

	$S_S \leq 0,25$	$S_S = 0,5$	$S_S = 0,75$	$S_S = 1,0$	$S_S \geq 1,25$
<b>SD</b>	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0

b.)  $F_v$  adalah koefisien situs untuk perioda panjang

**Tabel 2.12.** Koefisien Situs,  $F_v$  (SNI 1726 – 2012 Tabel 4)

**Kelas Situs**      **Parameter respons spektral percepatan gempa ( $MCE_R$ ) terpetakan pada perioda 1,0 detik,  $S_I$**

	$S_I \leq 0,1$	$S_I = 0,2$	$S_I = 0,3$	$S_I = 0,4$	$S_I \geq 0,5$
<b>SD</b>	2,4	2	1,8	1,6	1,5

Kemudian dapat menggunakan persamaan :

$$S_{MS} = F_a \times S_S \quad (1)$$

$$S_{MI} = F_V \times S_I \quad (2)$$

#### 2.5.4.6. Parameter Percepatan Spektral Desain

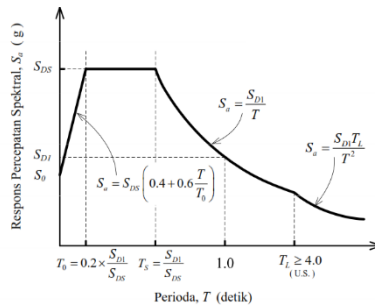
Parameter percepatan spektral desain untuk perioda pendek,  $S_{DS}$  dan pada perioda 1 detik,  $S_{DI}$ , harus ditentukan melalui perumusan sebagai berikut ini :

$$S_{DS} = \frac{2}{3} \times S_{MS} \quad (3)$$

$$S_{DI} = \frac{2}{3} \times S_{MI} \quad (4)$$

#### 2.5.4.7. Spektrum Respons Desain

Bila spektrum respons desain diperlukan oleh tata cara ini dan prosedur gerak tanah dari spesifik-situs tidak digunakan, maka kurva spektrum respons desain harus dikembangkan dengan mengacu pada gambar di bawah ini :



**Gambar 2.8** Spektrum Respons Desain

1. Untuk perioda yang lebih kecil dari  $T_0$ , spektrum respons percepatan desain,  $S_a$ , harus diambil dari persamaan:

$$S_a = S_{DS} \left( 0,4 + 0,6 \frac{T}{T_0} \right)$$

2. Untuk perioda lebih besar dari atau sama dengan  $T_0$  dan lebih kecil dari atau sama dengan  $T_S$ , spektrum respons percepatan desain,  $S_a$ , sama dengan  $S_{DS}$  :
3. Untuk perioda lebih besar dari  $T_S$ , spektrum respons percepatan desain,  $S_a$ , diambil berdasarkan persamaan :

$$S_a = \frac{S_{D1}}{T}$$

Keterangan :

$S_{DS}$  = parameter respons spektral percepatan desain pada periode pendek

$S_{D1}$  = parameter respons spektral percepatan desain pada periode 1 detik

$T$  = periode getar fundamental struktur

$$T_0 = 0,2 \cdot \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$

$$T_S = \frac{S_{D1}}{S_{DS}}$$



#### 2.5.4.8. Kategori Desain Seismik

Struktur dengan kategori risiko I, II, atau III yang berlokasi dimana parameter respons spektral percepatan terpetakan pada periode 1 detik,  $S_I$ , lebih besar dari atau sama dengan 0,75 harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik E. Struktur yang berkategori risiko IV yang berlokasi di mana parameter respons spektral percepatan terpetakan pada periode 1 detik,  $S_I$ , lebih besar dari atau sama dengan 0,75, harus ditetapkan sebagai struktur dengan kategori desain seismik F.

**Tabel 2.13** Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode Pendek (SNI 1726 – 2012 Tabel 6)

Nilai $S_{DS}$	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$0,33 \leq S_{DS} < 0,50$	C	D

**Tabel 2.14** Kategori Desain Seismik Berdasarkan Parameter Respons Percepatan pada Periode 1 Detik (SNI 1726 – 2012 Tabel 7)

Nilai $S_{DI}$	Kategori Risiko	
	I atau II atau III	IV
$0,133 \leq S_{DS} < 0,20$	C	D

**Tabel 2.15** Syarat Desain Struktural yang Disarankan Berdasarkan Kategori Desain Seismik

Kategori Desain Seismik	Tingkat Resiko Seismik	Syarat Desain Struktural	
C	Sedang	SRPM M/ K	SRPM M/ K

#### 2.5.4.9. Kombinasi Sistem Perangkai dalam Arah yang Berbeda

Sistem penahan gaya gempa yang berbeda diijinkan untuk digunakan, untuk menahan gaya gempa di masing-masing arah kedua sumbu ortogonal struktur. Bila sistem yang berbeda digunakan, masing-masing nilai  $R$ ,  $C_d$ , dan  $\Omega_0$  harus dikenakan pada setiap sistem, termasuk batasan sistem struktur yang termuat dalam tabel berikut :

**Tabel 2.16** Faktor  $R$ ,  $C_d$ , dan  $\Omega_0$  untuk Sistem Penahan Gaya Gempa (SNI 1726 – 2012 Tabel 9)

Sistem Penahan Gaya Seismik	Koefisien Modifikasi Respons, $R^a$	Faktor kuat-lenih sistem, $\Omega_0^b$	Faktor pembesaran defleksi, $C_d^b$	Batasan Sistem Struktur dan Batasan Tinggi Struktur, $h_n$ (m) <sup>c</sup>				
				Kategori Desain Seismik				
				B	C	D <sup>d</sup>	E <sup>d</sup>	F <sup>e</sup>
Rangka Beton Bertulang Pemikul Momen Menengah	5	3	4,5	TB	TB	TI	TI	TI

#### 2.5.4.10. Gaya Dasar Seismik

$$V = \frac{S_a I_e}{R} \times W$$

Dimana :

$V$  = gaya geser akibat gempa yang bekerja pada dasar bangunan

$S_a$  = percepatan spektral respons

$I_e$  = faktor keutamaan bangunan menurut Tabel 2 SNI 1726-2012

$R$  = koefisien modifikasi respons menurut Tabel 9 SNI 1726-2012

$W$  = berat seismik efektif

Atau dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$V = C_s \cdot W$$

Keterangan :

$C_s$  = koefisien respons seismik yang ditentukan dengan perhitungan

$W$  = berat seismik efektif

#### 2.5.4.11. Perhitungan Koefisien Respons Seismik

Koefisien respons seismik,  $C_s$ , harus ditentukan sesuai dengan persamaan berikut,

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)}$$

Keterangan :

$S_{DS}$  = parameter percepatan spektrum respons desain dalam rentang periode pendek

$R$  = faktor modifikasi respons

$I_e$  = faktor keutamaan gempa

Nilai  $C_s$  yang dihitung sesuai dengan persamaan di atas tidak perlu melebihi berikut ini :

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \left( \frac{R}{I_e} \right)}$$

$C_s$  harus tidak kurang dari,

$$C_s = 0,044 \times S_{DS} \times I_e \geq 0,01$$

#### 2.5.4.12. Periode Fundamental Pendekatan

Periode fundamental pendekatan ( $T_a$ ), dalam detik harus ditentukan dari persamaan berikut :

$$T_a = C_t \cdot h_n^x$$

Dimana :

$T_a$  = periode fundamental struktur cara pendekatan, dalam detik

$h_n$  = ketinggian struktur dari dasar sampai tingkat tertinggi, dalam meter  
 $C_t$ , dan  $x$  = koefisien yang ditentukan menurut Tabel SNI 1726-2012

**Tabel 2.17.** Nilai Parameter Periode Pendekatan  $C_t$  dan  $x$  (SNI 1726 – 2012 Tabel 15)

Tipe Struktur	$C_t$	$x$
<b>Rangka Beton</b>		
<b>Pemikul Momen</b>	0,0466 <sup>a</sup>	0,9

### 2.5.4.13. Distribusi Vertikal Gaya Gempa

Gaya gempa lateral ( $F_d$ ) (kN) yang timbul di semua tingkat harus ditentukan dari persamaan berikut :

$$F_{x,i} = \frac{w_i \cdot h_i^k}{\sum_{i=1}^n w_i \cdot h_i^k}$$

Dimana :

$F_{x,i}$  = gaya lateral gempa yang bekerja pada elevasi balok lantai ke- $i$

$W_i$  = bagian berat seismik efektif total struktur pada lantai ke- $i$

$h_i$  = tinggi lantai ke- $i$  diukur dari dasar

$V$  = gaya geser dasar akibat gempa

$k$  = eksponen yang terkait dengan perioda fundamental struktur.

## BAB III METODOLOGI

Metodologi yang digunakan dalam Perencanaan Struktur Bangunan Ruko Empat Lantai di Surabaya dengan Metode Sistem Rangka Pemikul Momen Menengah (SRPMM) adalah sebagai berikut :

### 3.1. Data Perencanaan

#### 1. Data Bangunan

Tinggi Bangunan	: $\pm 16,00$ meter
Struktur Bangunan Atap	: Rangka Baja dengan penutup atap seng gelombang.
Struktur Bangunan Atas	: Balok, Kolom, Pelat, dan Tangga yang menggunakan beton bertulang.

#### 2. Data Tanah

Data tanah yang digunakan proyek adalah data tanah hasil penyelidikan laboratorium *testana engineering, inc*, yaitu data tanah berupa tanah yang berupa data SPT (*Standart Penetration Test*) yang dilakukan oleh pihak laboratorium di satu titik lokasi yang sudah ditentukan. Data tanah tersebut selanjutnya akan digunakan dalam perencanaan resiko gempa pada bangunan dan perhitungan pondasi tiang pancang.

### 3. Data Gambar

Data gambar meliputi gambar denah, gambar tampak, gambar potongan, dan gambar detail struktur yang akan digunakan untuk merencanakan dimensi komponen struktur.

#### 3.2. Pengumpulan Data

Data yang telah diperoleh adalah sebagai berikut :

1. Gambar arsitektur.
2. Data tanah yaitu berupa data SPT (*Standart Penetration Test*)
3. Peraturan/ SNI dan buku penunjang lainnya sebagai dasar teori maupun pendukung.

#### 3.3. Preliminary Desain

Dimensi elemen struktur ditentukan dengan mengacu pada SNI 2847: 2013. Elemen struktur yang direncanakan meliputi struktur primer dan struktur sekunder.

##### 3.3.1. Struktur Primer

Preliminari desain struktur primer meliputi penentuan dimensi balok, kolom, dan sloof.

1. Perencanaan Dimensi Balok

Tinggi balok dapat ditentukan dengan menggunakan komponen struktur balok tumpuan sederhana untuk perencanaan tebal minimum ( $h$ ) menggunakan  $l/16$  dengan catatan apabila mutu tulangan yang digunakan  $f_y$  selain 420 Mpa, nilainya harus dikalikan dengan  $(0,4 + f_y/ 700)$  dan komponen struktur balok kedua ujung menerus (balok anak) untuk perencanaan tebal minimum ( $h$ ) menggunakan  $l/ 21$  dengan catatan yang sama, sedangkan

untuk lebarnya (b) dapat diambil dari 2/3 tinggi balok yang akan direncanakan.

## 2. Perencanaan Dimensi Kolom

Berdasarkan SNI 2847: 2013, pada pasal 8.10.1, kolom harus dirancang untuk menahan gaya aksial dari beban terfaktor pada semua lantai atau atap. Perencanaan dimensi kolom didapatkan dari persamaan sebagai berikut :

$$\frac{I_{kolom}}{l_{kolom}} \geq \frac{I_{balok}}{l_{balok}}$$

Keterangan :

$I_{kolom}$  = Inersia kolom ( $\frac{1}{12} \times b \times h^3$ )

$l_{kolom}$  = Tinggi bersih kolom

$I_{balok}$  = Inersia balok ( $\frac{1}{12} \times b \times h^3$ )

$L_{balok}$  = Panjang bersih balok

## 3. Perencanaan Dimensi Sloof

Sloof bekerja sebagai pengikat antarkolom sehingga mengalami gaya aksial seperti kolom. Oleh karena itu perhitungan dimensinya menggunakan persamaan yang sama seperti perhitungan dimensi kolom.

### 3.3.2. Struktur Sekunder

Preliminary desain struktur sekunder meliputi penentuan tebal pelat, tangga, dan pelat atap.

## 1. Penentuan Dimensi Plat

Berdasarkan SNI 2847: 2013 pada pasal 9.5, komponen struktur beton bertulang yang mengalami lentur harus direncanakan agar mempunyai kekakuan yang cukup untuk membatasi defleksi atau deformasi apapun



yang dapat memperlemah kekuatan ataupun mengurangi kemampuan layan struktur pada beban kerja. Penentuan dimensi pelat dibagi menjadi dua bagian, yaitu pelat satu arah dan pelat dua arah.

a. Perencanaan Pelat Satu Arah

Pelat satu arah terjadi apabila rasio bentang panjang ( $l_y$ ) terhadap bentang pendek ( $l_x$ ) lebih dari 2,0. Berdasarkan SNI 2847: 2013 pada pasal 9.5.2.1, tebal minimum yang ditentukan dalam Tabel 9.5(a) berlaku untuk konstruksi satu arah yang tidak menumpu atau tidak disatukan dengan partisi atau konstruksi lain yang mungkin akan rusak akibat lendutan yang besar, kecuali bila perhitungan lendutan menunjukkan bahwa ketebalan yang lebih kecil dapat digunakan tanpa menimbulkan pengaruh yang merugikan.

**Tabel 3.1.** Tebal Minimum Balok Non-Prategang atau Pelat Satu Arah Bila Lendutan Tidak Dihitung

Komponen struktur	Tebal minimum, $h$			
	Tertumpu sederhana	Satu ujung menerus	Kedua ujung menerus	Kantilever
	Komponen struktur tidak menumpu atau tidak dihubungkan dengan partisi atau konstruksi lainnya yang mungkin rusak oleh lendutan yang besar			
Pelat masif satu-arah	$l/20$	$l/24$	$l/28$	$l/10$
Balok atau pelat rusuk satu-arah	$l/16$	$l/18,5$	$l/21$	$l/8$
<p><b>CATATAN:</b>            Panjang bentang dalam mm.            Nilai yang diberikan harus digunakan langsung untuk komponen struktur dengan beton normal dan tulangan tulangan Mutu 420 MPa. Untuk kondisi lain, nilai di atas harus dimodifikasi sebagai berikut:            (a) Untuk struktur beton ringan dengan berat jenis (<i>equilibrium density</i>), <math>w_c</math>, di antara 1440 sampai 1840 kg/m<sup>3</sup>, nilai tadi harus dikalikan dengan <math>(1,65 - 0,0003w_c)</math> tetapi tidak kurang dari 1,09.            (b) Untuk <math>f_c</math> selain 420 MPa, nilainya harus dikalikan dengan <math>(0,4 + f_c/700)</math>.</p>				

(SNI 2847:2013, Tabel 9.5(a))

b. Perencanaan Pelat Dua Arah

Berdasarkan SNI 2847:2013 pada pasal 9.5.3.2, untuk pelat tanpa balok interior yang membentang di antara tumpuan dan mempunyai rasio bentang panjang terhadap bentang pendek yang tidak lebih dari 2,0, tebal minimumnya harus memenuhi ketentuan Tabel 9.5(c) dan tidak boleh kurang dari nilai berikut :

- (a) Tanpa panel drop (*drop panel*) seperti yang didefinisikan dalam

13.2.5 ..... 125 mm

- (b) Dengan panel drop (*drop panel*) seperti yang didefinisikan dalam

13.2.5 ..... 100 mm

**Tabel 3.2. Tebal Minimum Pelat Tanpa Balok Interior**

Tegangan leleh, $f_y$ MPa <sup>1</sup>	Tanpa penebalan <sup>2</sup>			Dengan penebalan <sup>2</sup>		
	Panel eksterior		Panel interior	Panel eksterior		Panel interior
	Tanpa balok pinggir	Dengan balok pinggir <sup>3</sup>		Tanpa balok pinggir	Dengan balok pinggir <sup>3</sup>	
280	$\ell_n / 33$	$\ell_n / 36$	$\ell_n / 36$	$\ell_n / 36$	$\ell_n / 40$	$\ell_n / 40$
420	$\ell_n / 30$	$\ell_n / 33$	$\ell_n / 33$	$\ell_n / 33$	$\ell_n / 36$	$\ell_n / 36$
520	$\ell_n / 28$	$\ell_n / 31$	$\ell_n / 31$	$\ell_n / 31$	$\ell_n / 34$	$\ell_n / 34$

<sup>1</sup>Untuk konstruksi dua arah,  $\ell_n$  adalah panjang bentang bersih dalam arah panjang, diukur muka ke muka tumpuan pada pelat tanpa balok dan muka ke muka balok atau tumpuan lainnya pada kasus yang lain.  
<sup>2</sup>Untuk  $f_y$  antara nilai yang diberikan dalam tabel, tebal minimum harus ditentukan dengan interpolasi linier.  
<sup>3</sup>Panel drop didefinisikan dalam 13.2.5.  
<sup>4</sup>Pelat dengan balok di antara kolom kolomnya di sepanjang tepi eksterior. Nilai  $\alpha_c$  untuk balok tepi tidak boleh kurang dari 0,8.

(SNI 2847:2013 Tabel 9.5(c))

## 2. Penentuan Dimensi Tangga

Ukuran anak tangga dapat digunakan persamaan :

$$\tan \theta = \frac{T}{I}$$

$$2t + i = (61 - 65)cm$$

(Sumber: *Ali Asroni, Balok dan Plat Beton Bertulang*)

Keterangan :

t = tinggi bidang ijakan (*optrede*)

i = lebar bidang ijakan (*aantrede*)

T = jumlah tinggi bidang ijakan

I = jumlah lebar bidang ijakan

## 3. Penentuan Dimensi Plat Atap

Struktur atap menggunakan struktur beton bertulang sehingga perhitungan sama dengan perhitungan tebal pelat lantai.

### 3.4. Perhitungan Pembebanan

Perhitungan beban-beban yang bekerja disesuaikan dengan SNI 1727:2013 tentang Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain, yaitu sebagai berikut:

#### 1. Beban pada Konstruksi Atap

##### a. Beban Mati

Beban mati pada konstruksi atap meliputi berat sendiri pelat beton bertulang, plafond, perpipaan, dan instalasi listrik.

##### b. Beban Hidup

Beban hidup pada konstruksi atap meliputi beban hidup atap sesuai SNI 1727:2013 (beban pelaksanaan), beban air hujan yang dihitung sesuai dengan SNI 1727:2013, dan beban angin.

## 2. Beban pada Pelat Lantai

### a. Beban Mati

Beban mati pada pelat lantai terdiri dari berat sendiri pelat beton bertulang, spesi, keramik, plafon, pemipaan, dan instalasi listrik.

### b. Beban Hidup

Beban hidup pada pelat lantai terdiri dari beban hidup yang sesuai dengan fungsi ruangan pada lantai tersebut yang dijelaskan pada SNI 1727:2013.

## 3. Beban Tangga dan Bordes

### a. Beban Mati

Beban mati pada plat tangga dan bordes terdiri dari berat sendiri pelat beton bertulang, spesi, keramik, beban anak tangga, dan *railing hand* tangga.

### b. Beban Hidup

Beban hidup pada pelat tangga dan bordes ditentukan dalam SNI 1727:2013.

## 4. Beban Gempa

Analisa beban gempa dilakukan dengan analisa gempa statik ekuivalen yang sesuai dengan SNI gempa 1726:2012.

## 5. Beban Angin

Analisa beban angin dilakukan sesuai dengan SNI 1727:2013.

### 3.5. Analisa Gaya Dalam

Analisa gaya dalam pada masing-masing struktur bangunan dapat diperoleh melalui program SAP2000.

### 3.6. Perhitungan Penulangan Elemen Struktur Bangunan

Perhitungan penulangan elemen struktur dapat dihitung berdasarkan SNI 2847:2013 dengan memerhatikan standar penulangan pada balok, kolom, pelat, dan

pondasi, dengan menggunakan data-data analisa gaya dalam yang diperoleh dari *output* program SAP2000.

### 3.7. Kontrol Persyaratan

Kontrol persyaratan untuk memenuhi kriteria desain sesuai dengan SNI 2847:2013 adalah sebagai berikut :

1. Pelat
  - a. Kontrol jarak spasi tulangan.
  - b. Kontrol jarak spasi tulangan susut dan suhu.
  - c. Kontrol perlu tulangan susut dan suhu.
  - d. Kontrol lendutan.
  - e. Kontrol retak.
2. Balok
  - a. Kontrol  $M_n$  pasang  $\geq M_n$  untuk tulangan lentur.
  - b. Kontrol penulangan geser yang terdiri dari lima kondisi.
3. Kolom
  - a. Kontrol kelangsingan kolom (kolom langsing atau kolom pendek).
  - b. Kontrol kondisi kolom (tekan menentukan, *balance*, tarik menentukan).
  - c. Kontrol kemampuan kolom.
  - d. Kontrol momen yang terjadi  $M_n$  pasang  $\geq M_n$  perlu.

### 3.8. Gambar Rencana

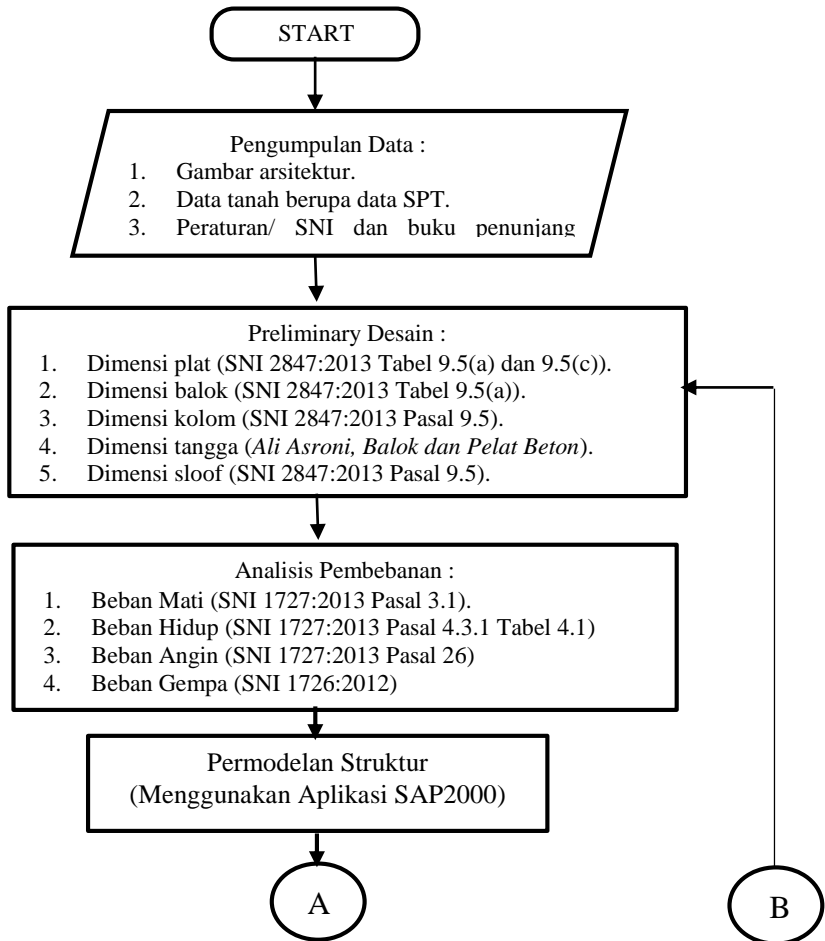
Gambar rencana meliputi :

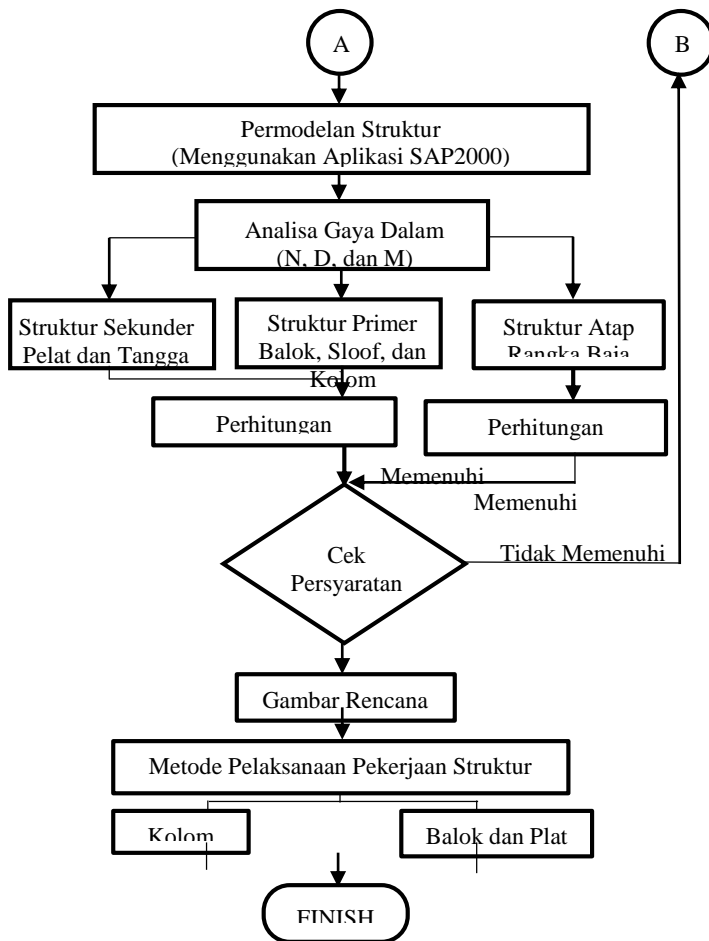
1. Gambar arsitek, terdiri dari :
  - a. Siteplan lokasi proyek.
  - b. Gambar denah setiap lantai.
  - c. Gambar tampak bangunan (utara, selatan, barat, timur).
2. Gambar potongan struktur, terdiri dari :
  - a. Potongan memanjang.
  - b. Potongan melintang.

3. Detail gambar penulangan elemen struktut, terdiri dari :
  - a. Detail penulangan plat lantai dan atap.
  - b. Detail penulangan plat tangga dan bordes.
  - c. Detail penulangan balok.
  - d. Detail penulangan kolom.
  - e. Detail penulangan sloof.
4. Gambar detail, terdiri dari :
  - a. Gambar detail panjang penyaluran tulangan.
  - b. Gambar detail sambungan pada rangka baja.
5. Gambar struktur, terdiri dari :
  - a. Balok.
  - b. Kolom.
  - c. Sloof.

### 3.9. Flow Chart Metodologi

#### 3.9.1. Metodologi Perencanaan

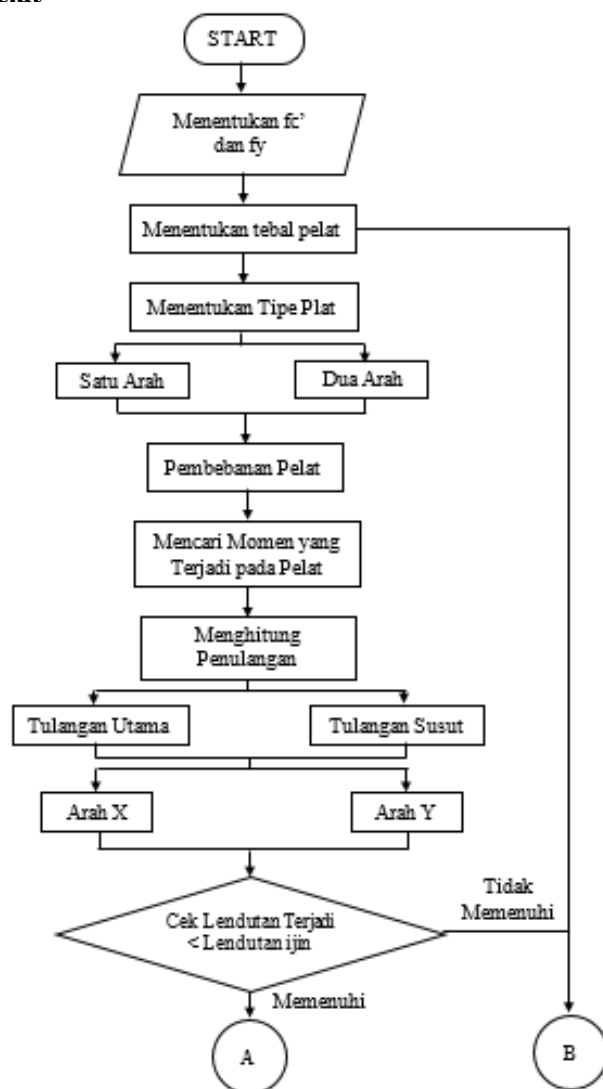


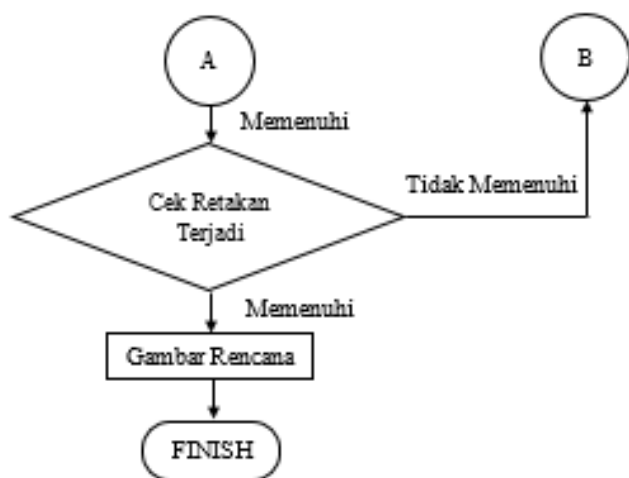




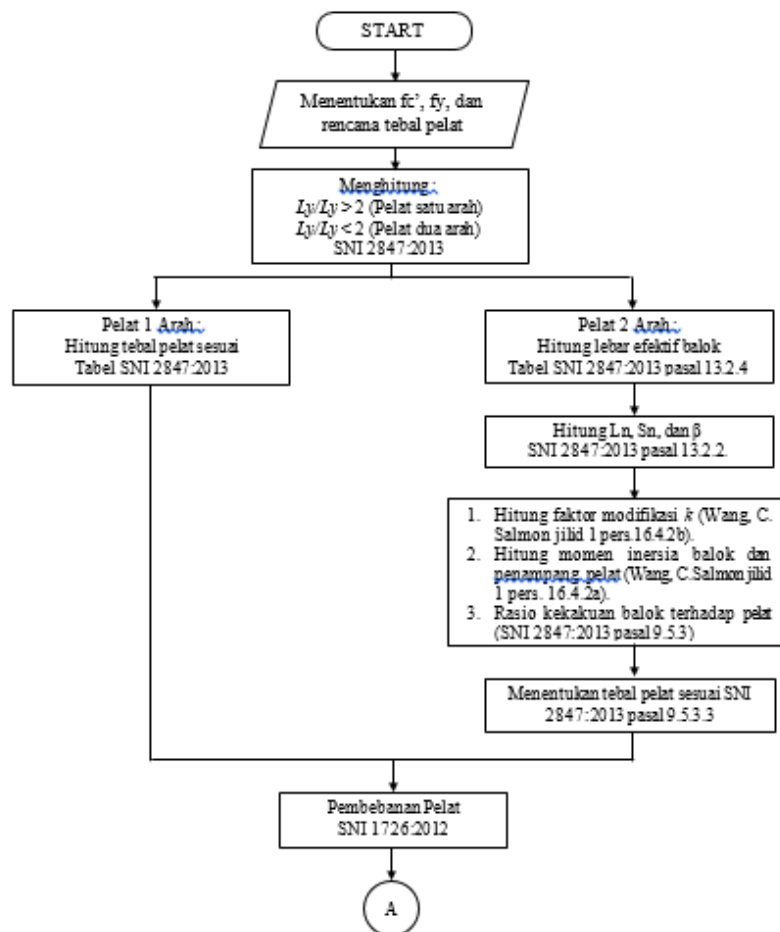
### 3.9.2. Struktur Sekunder

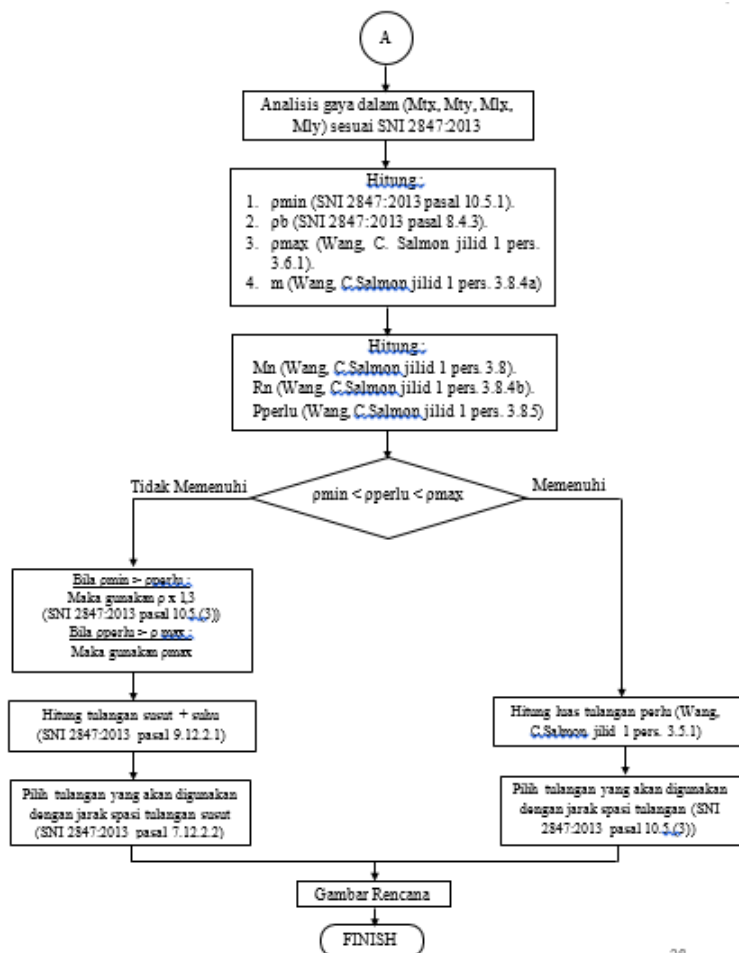
#### a. Pelat



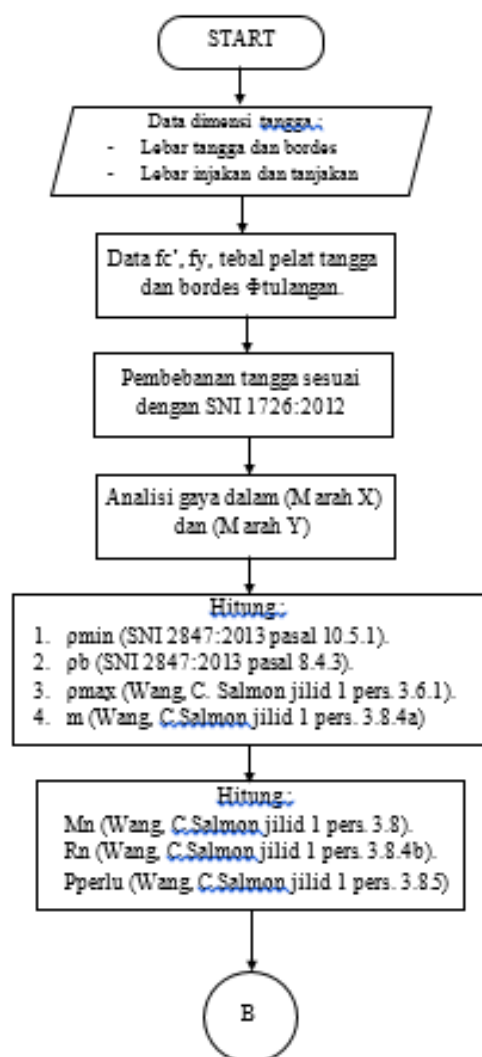


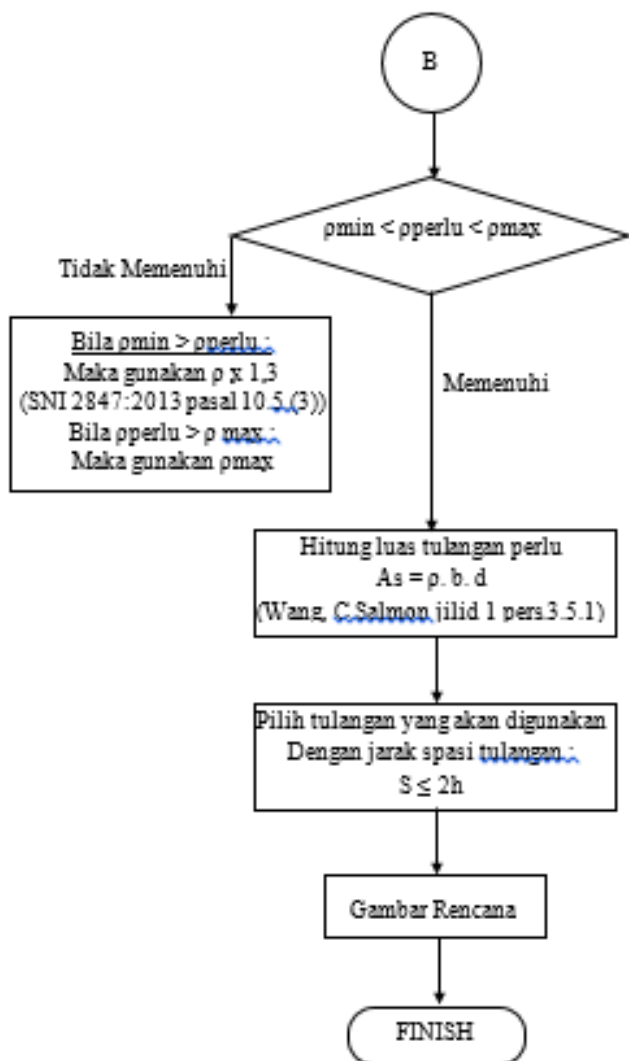
## b. Perhitungan Penulangan Pelat





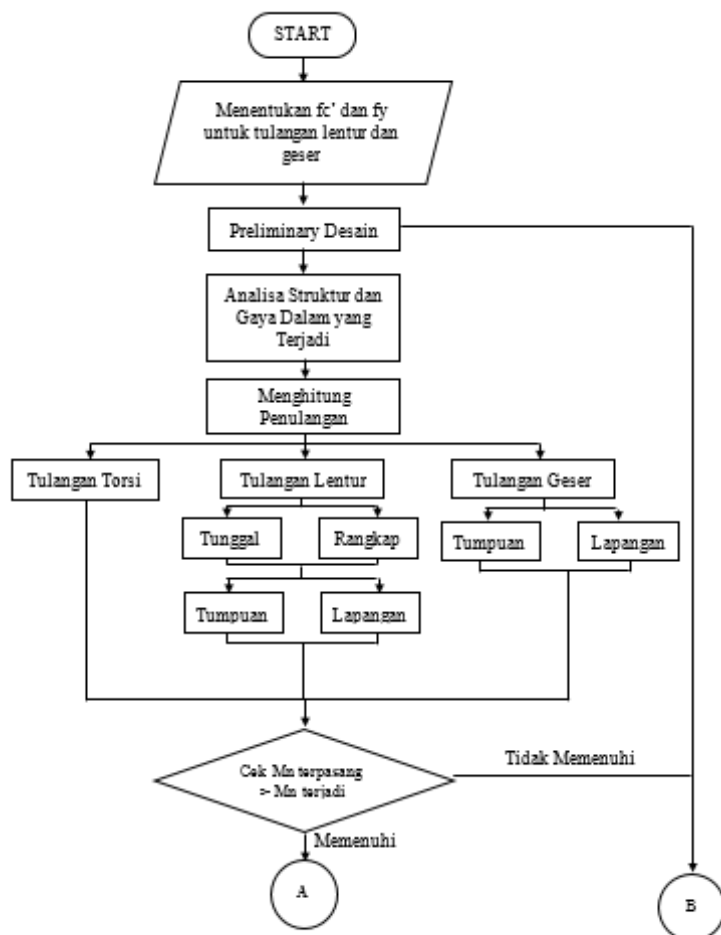
## c. Tangga

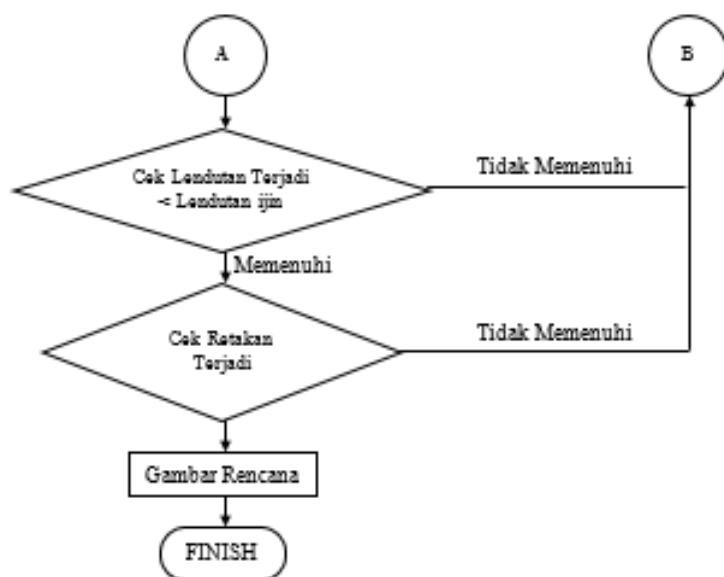




### 3.9.3. Struktur Primer

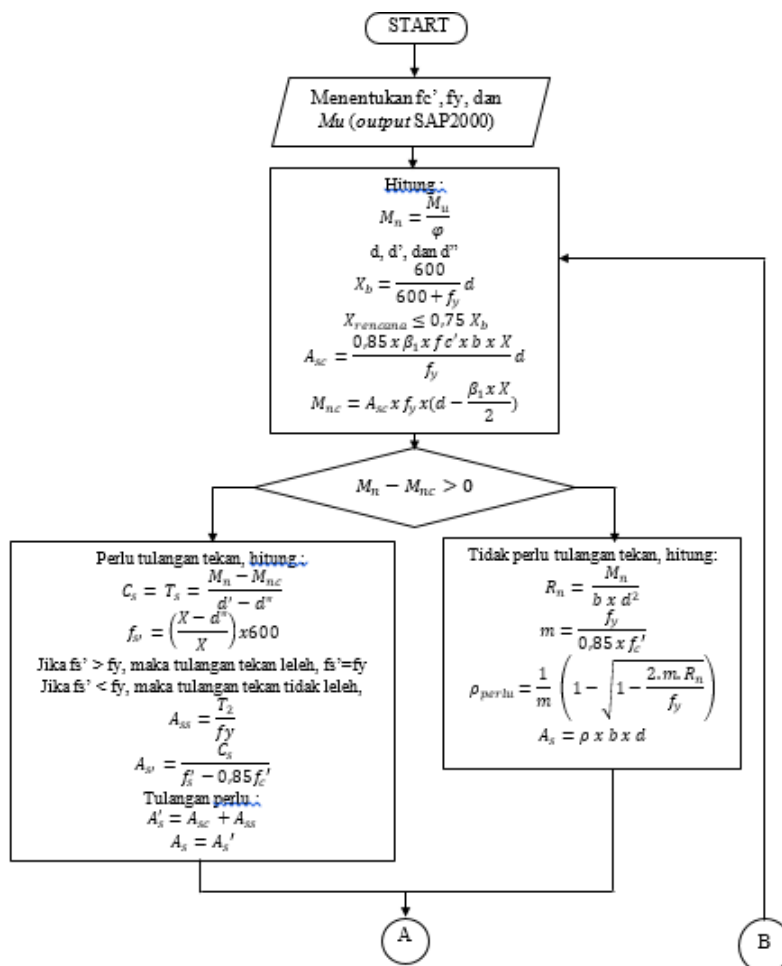
#### a. Balok

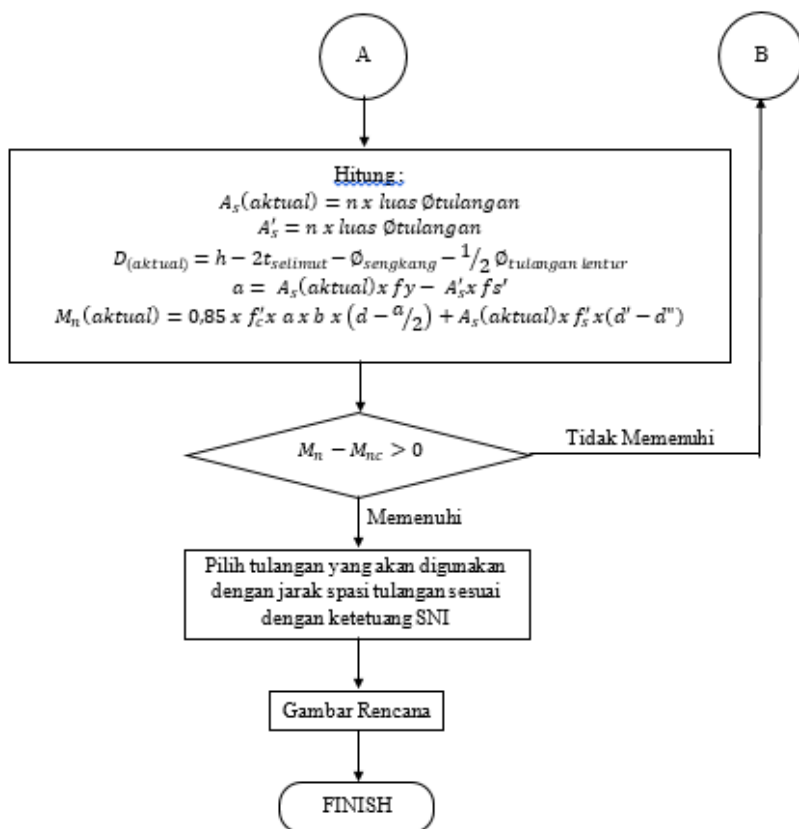




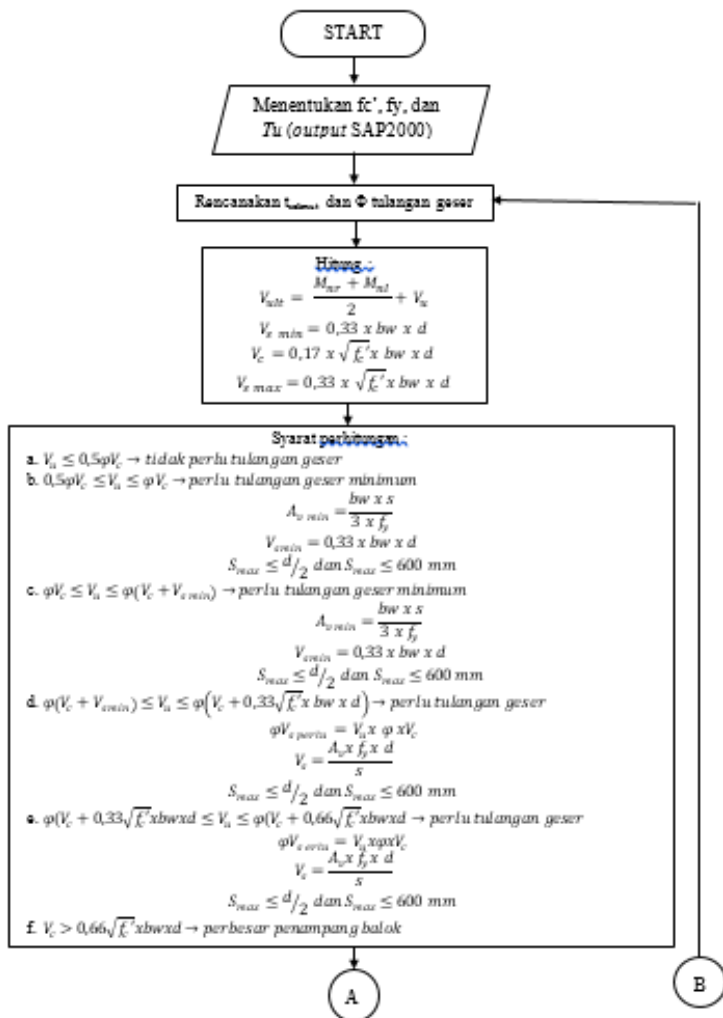


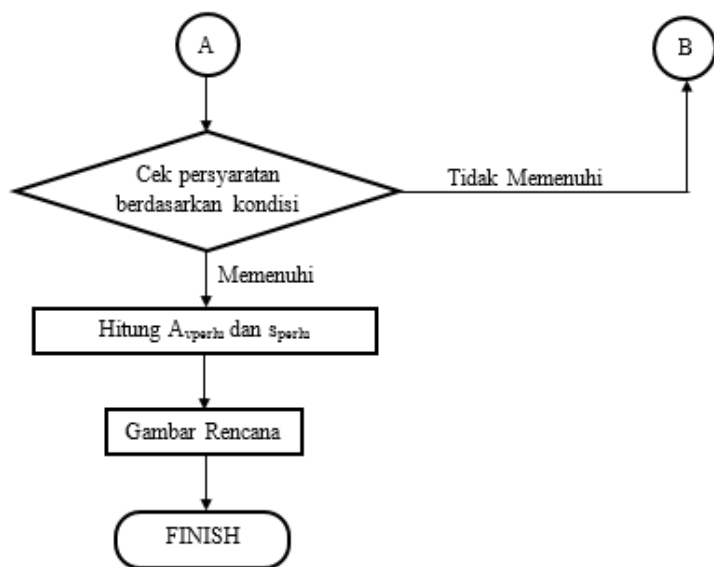
## (a) Penulangan lentur balok



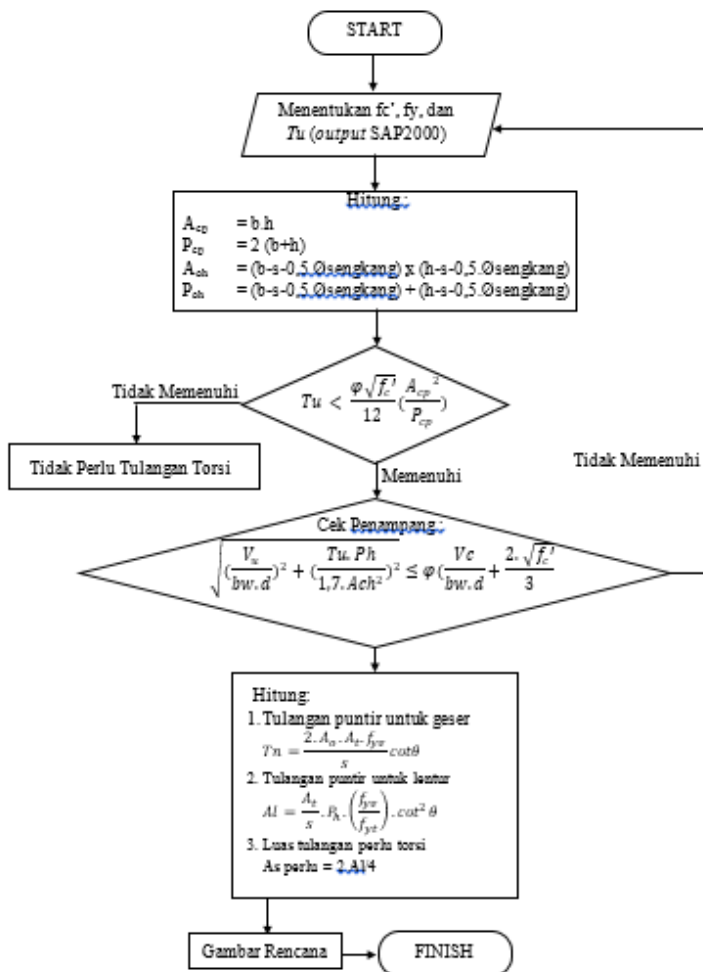


## (b) Penulangan geser balok



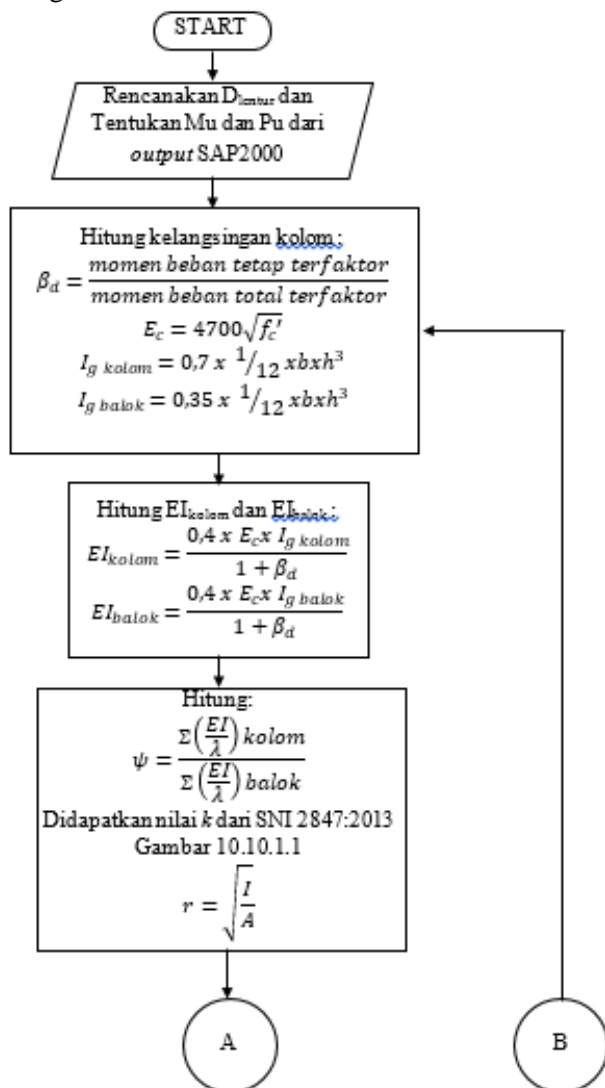


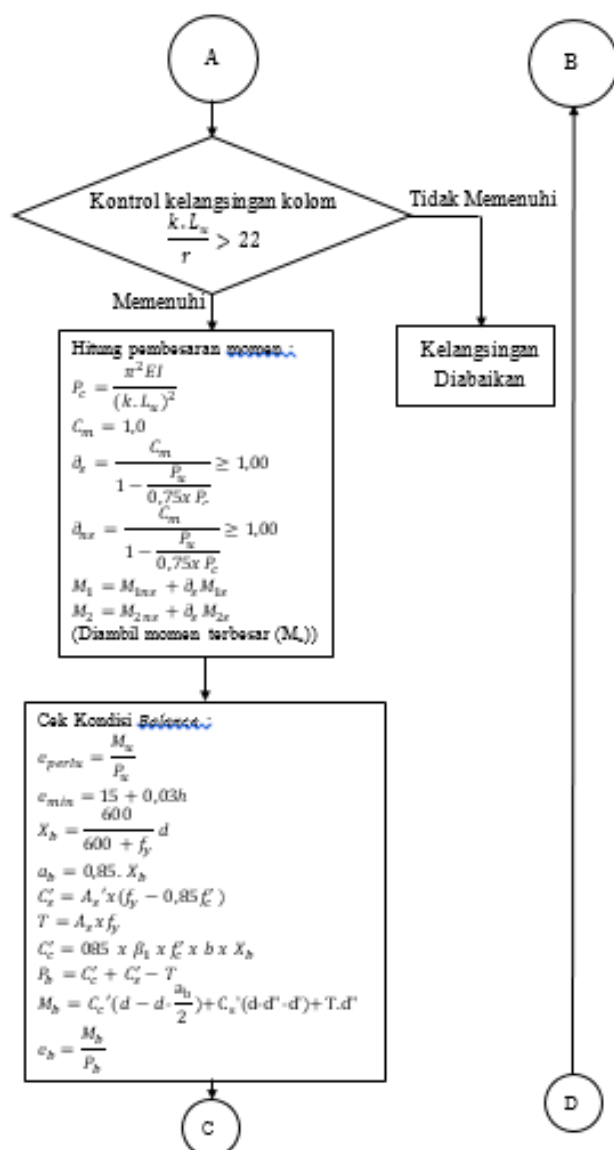
## (c) Penulangan torsi balok

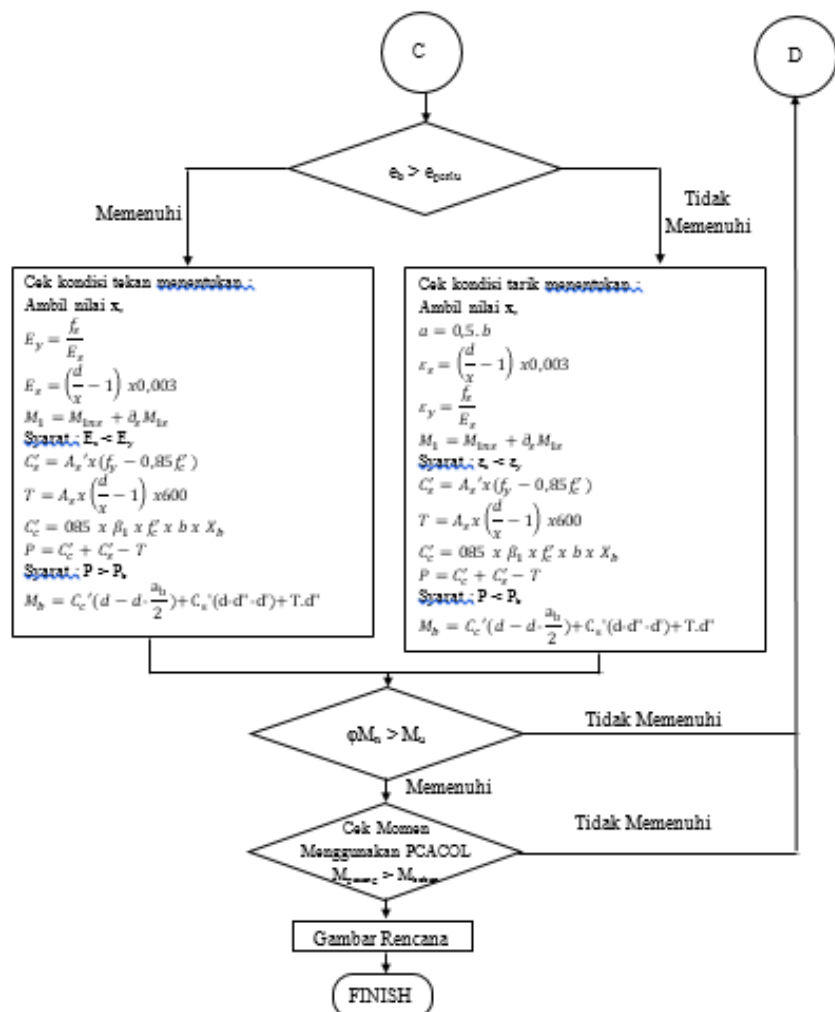


## b. Kolom

### (a) Penulangan lentur kolom

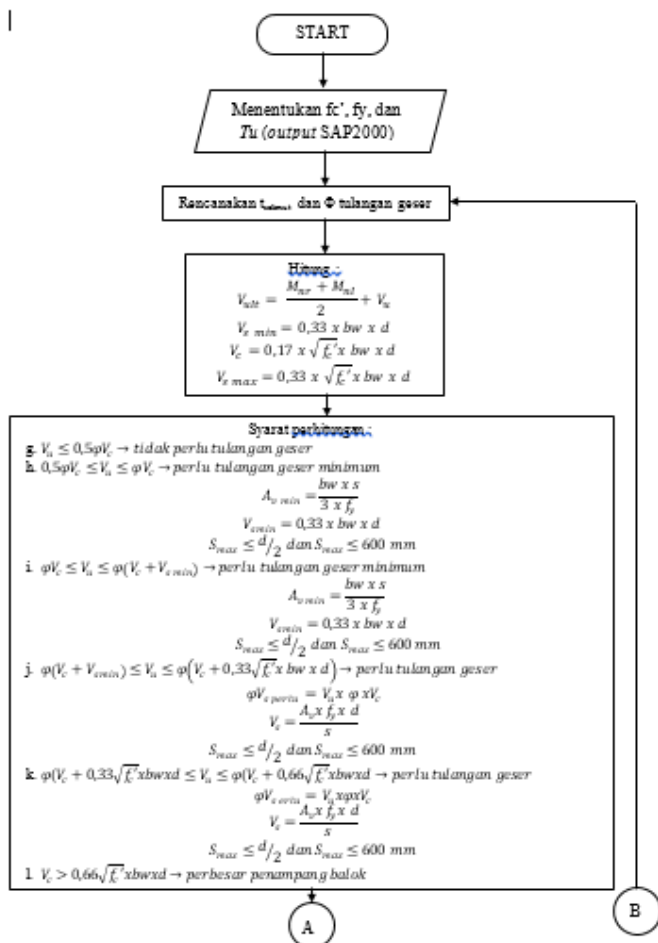


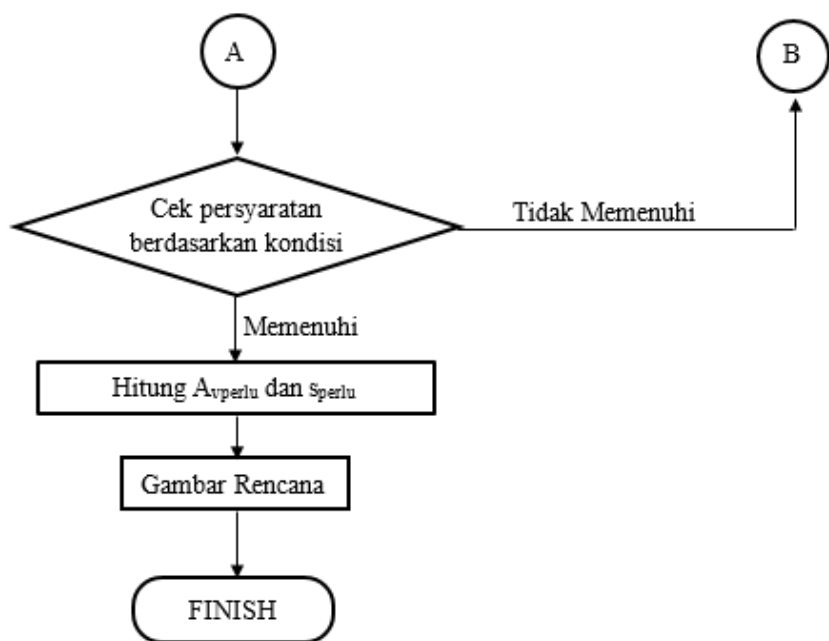






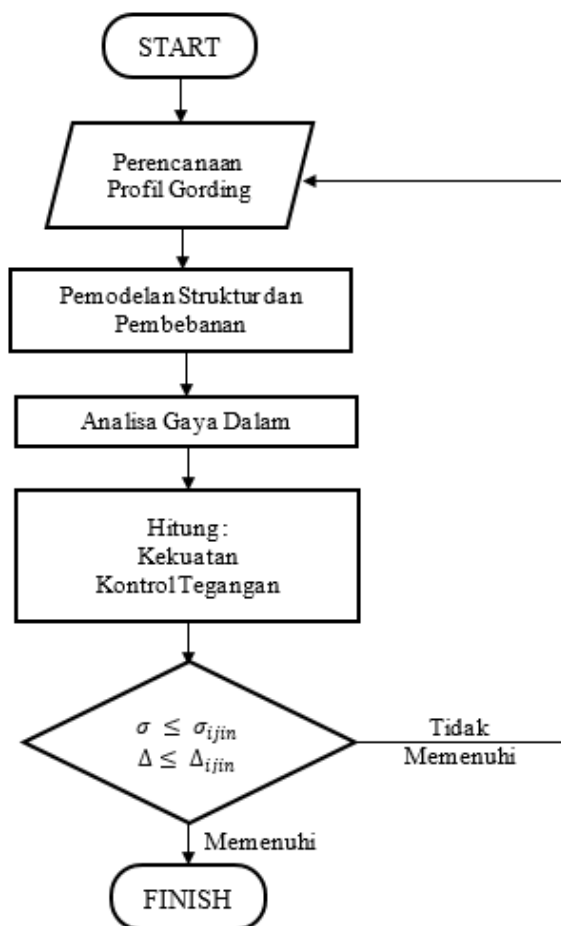
## (b) Penulangan geser kolom



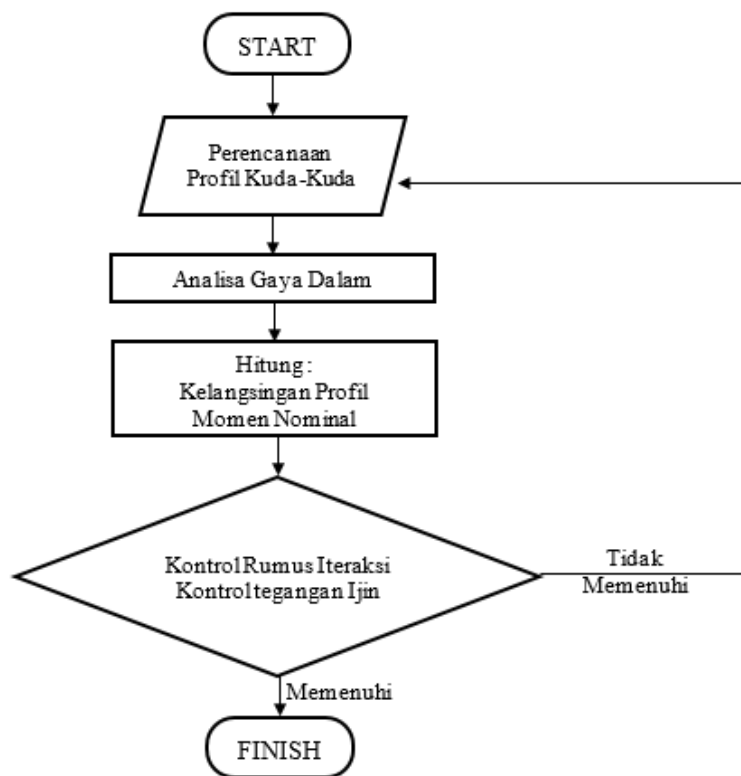


### 3.9.4. Struktur Atap Rangka Baja (Rangka Kaku)

#### 3.9.4.1. Perhitungan Gording

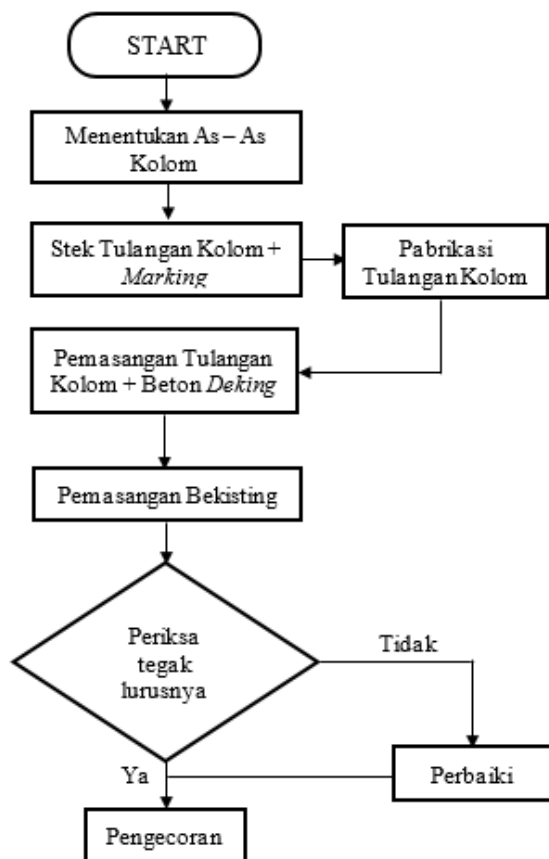


### 3.9.4.2. Perhitungan Kuda-Kuda



### 3.10. Flowchart Metode Pelaksanaan Pekerjaan Struktur Lantai Dua

#### 3.10.1. Pekerjaan Konstruksi Kolom



## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1. Perencanaan Dimensi Struktur

Dalam merencanakan struktur bangunan gedung, langkah awal yang perlu dilakukan adalah menentukan dimensi-dimensi komponen struktur yang digunakan dalam perencanaan bangunan tersebut.

#### 4.1.1. Perencanaan Dimensi Balok

Adapun data-data perencanaan, gambar denah perencanaan, ketentuan perencanaan, perhitungan perencanaan, dan hasil gambar perencanaan dimensi balok induk (B1) struktur bangunan ruko 4 lantai Surabaya adalah sebagai berikut :

##### A. Balok Induk B1

❖ Data-data perencanaan :

- Tipe balok : B1
- As balok : 1 (A-B)
- Bentang balok ( $L_{\text{balok}}$ ) : 670 cm
- Kuat leleh tulangan lentur ( $f_{y\text{lentur}}$ ) : 400 Mpa

❖ Perhitungan perencanaan :

$$h \geq \frac{L}{16} \times \left(0,4 + \frac{f_y}{700}\right)$$

$$h \geq \frac{670}{16} \times \left(0,4 + \frac{400}{700}\right)$$

$$h \geq 40,68 \text{ cm}$$

$$h \approx 45 \text{ cm}$$

$$b \geq \frac{1}{2} \times h$$

$$b \geq \frac{1}{2} \times 45 \text{ cm}$$

$$b \geq 22,5 \text{ cm}$$

$$b \approx 25 \text{ cm}$$

Maka direncanakan dimensi balok induk B1 dengan ukuran 30/50.

## B. Balok Induk B2

❖ Data-data perencanaan :

- Tipe balok : B2
- As balok : 1 (B-C)
- Bentang balok ( $L_{\text{balok}}$ ) : 500 cm
- Kuat leleh tulangan lentur ( $f_{y_{\text{lentur}}}$ ) : 400 Mpa

❖ Perhitungan perencanaan :

$$h \geq \frac{L}{16} \times \left(0,4 + \frac{f_y}{700}\right)$$

$$h \geq \frac{500}{16} \times \left(0,4 + \frac{400}{700}\right)$$

$$h \geq 30,36 \text{ cm}$$

$$h \approx 35 \text{ cm}$$

$$b \geq \frac{1}{2} \times h$$

$$b \geq \frac{1}{2} \times 35 \text{ cm}$$

$$b \geq 17,5 \text{ cm}$$

$$b \approx 20 \text{ cm}$$

Maka direncanakan dimensi balok induk B2 dengan ukuran 20/35.

## C. Balok Anak B3

❖ Data-data perencanaan :

- Tipe balok : B3
- As balok : 2 (A-B)
- Bentang balok ( $L_{\text{balok}}$ ) : 670 cm
- Kuat leleh tulangan lentur ( $f_{y\text{lentur}}$ ) : 400 Mpa

❖ Perhitungan perencanaan :

$$h \geq \frac{L}{21} \times \left(0,4 + \frac{f_y}{700}\right)$$

$$h \geq \frac{670}{21} \times \left(0,4 + \frac{400}{700}\right)$$

$$h \geq 30,99 \text{ cm}$$

$$h \approx 35 \text{ cm}$$

$$b \geq \frac{1}{2} \times h$$

$$b \geq \frac{1}{2} \times 35 \text{ cm}$$

$$b \geq 17,5 \text{ cm}$$

$$b \approx 20 \text{ cm}$$

Maka direncanakan dimensi balok anak B3 dengan ukuran 20/35.

#### D. Balok Anak B4

❖ Data-data perencanaan :

- Tipe balok : B4
- As balok : 2 (B-C)
- Bentang balok ( $L_{\text{balok}}$ ) : 500 cm
- Kuat leleh tulangan lentur ( $f_{y\text{lentur}}$ ) : 400 Mpa

❖ Perhitungan perencanaan :



$$h \geq \frac{L}{21} \times \left(0,4 + \frac{f_y}{700}\right)$$

$$h \geq \frac{500}{21} \times \left(0,4 + \frac{400}{700}\right)$$

$$h \geq 23,13 \text{ cm}$$

$$h \approx 25 \text{ cm}$$

$$b \geq \frac{1}{2} \times h$$

$$b \geq \frac{1}{2} \times 25 \text{ cm}$$

$$b \geq 12,5 \text{ cm}$$

$$b \approx 15 \text{ cm}$$

Maka direncanakan dimensi balok anak B4 dengan ukuran 15/25.

#### 4.1.2. Perencanaan Dimensi Kolom

Adapun data-data perencanaan, gambar denah perencanaan, ketentuan perencanaan, perhitungan perencanaan, dan hasil gambar perencanaan dimensi kolom (K) struktur bangunan ruko 4 lantai Surabaya adalah sebagai berikut :

##### A. Kolom (K1)

❖ Data-data perencanaan :

- Tipe kolom : K1
- Tinggi kolom ( $H_{\text{kolom}}$ ) : 450 cm
- Bentang balok ( $L_{\text{balok}}$ ) : 670 cm
- Dimensi balok ( $b_{\text{balok}}$ ) : 25 cm
- Dimensi balok ( $h_{\text{balok}}$ ) : 45 cm

❖ Ketentuan Perencanaan :

$$\frac{I_{kolom}}{H_{kolom}} \geq \frac{I_{balok}}{L_{balok}}$$

❖ Perhitungan perencanaan :

$$\frac{\frac{1}{12} b \cdot h^3}{H_{kolom}} \geq \frac{\frac{1}{12} b \cdot h^3}{L_{balok}}$$

Dimana,  $b_{kolom} = h_{kolom}$  sehingga

$$\frac{\frac{1}{12} \cdot h^4}{H_{kolom}} \geq \frac{\frac{1}{12} b \cdot h^3}{L_{balok}}$$

$$\frac{\frac{1}{12} \cdot h^3}{450 \text{ cm}} \geq \frac{\frac{1}{12} 25 \cdot 45^3}{670}$$

$$h \geq 35,171 \text{ cm}$$

$$h \approx 40 \text{ cm}$$

Maka direncanakan dimensi kolom dengan  $H_{kolom} = 450 \text{ cm}$  adalah  $40 \times 40 \text{ cm}$ .

## B. Kolom (K2)

❖ Data-data perencanaan :

- Tipe kolom : K2
- Tinggi kolom ( $H_{kolom}$ ) : 357 cm
- Bentang balok ( $L_{balok}$ ) : 670 cm
- Dimensi balok ( $b_{balok}$ ) : 25 cm
- Dimensi balok ( $h_{balok}$ ) : 45 cm

❖ Ketentuan Perencanaan :

$$\frac{I_{kolom}}{H_{kolom}} \geq \frac{I_{balok}}{L_{balok}}$$

❖ Perhitungan perencanaan :

$$\frac{\frac{1}{12} b \cdot h^3}{H_{kolom}} \geq \frac{\frac{1}{12} b \cdot h^3}{L_{balok}}$$

Dimana,  $b_{kolom} = h_{kolom}$  sehingga

$$\frac{\frac{1}{12} \cdot h^4}{H_{kolom}} \geq \frac{\frac{1}{12} b \cdot h^3}{L_{balok}}$$

$$\frac{\frac{1}{12} \cdot h^3}{357 \text{ cm}} \geq \frac{\frac{1}{12} 25 \cdot 45^3}{670}$$

$$h \geq 33,193 \text{ cm}$$

$$h \approx 35 \text{ cm}$$

Maka direncanakan dimensi kolom dengan  $H_{kolom} = 357 \text{ cm}$  adalah  $35 \times 35 \text{ cm}$ .

### C. Kolom (K3)

❖ Data-data perencanaan :

- Tipe kolom : K3
- Tinggi kolom ( $H_{kolom}$ ) : 450 cm
- Bentang balok ( $L_{balok}$ ) : 500 cm
- Dimensi balok ( $b_{balok}$ ) : 20 cm
- Dimensi balok ( $h_{balok}$ ) : 35 cm

❖ Ketentuan Perencanaan :

$$\frac{I_{kolom}}{H_{kolom}} \geq \frac{I_{balok}}{L_{balok}}$$

❖ Perhitungan perencanaan :

$$\frac{\frac{1}{12} b \cdot h^3}{H_{kolom}} \geq \frac{\frac{1}{12} b \cdot h^3}{L_{balok}}$$

Dimana,  $b_{kolom} = h_{kolom}$  sehingga

$$\frac{\frac{1}{12} \cdot h^4}{H_{kolom}} \geq \frac{\frac{1}{12} b \cdot h^3}{L_{balok}}$$

$$\frac{\frac{1}{12} \cdot h^3}{450 \text{ cm}} \geq \frac{\frac{1}{12} 20 \cdot 35^3}{670}$$

$$h \geq 27,548 \text{ cm}$$

$$h \approx 30 \text{ cm}$$

Maka direncanakan dimensi kolom dengan  $H_{kolom} = 450 \text{ cm}$  adalah  $30 \times 30 \text{ cm}$ .

#### D. Kolom (K4)

❖ Data-data perencanaan :

- Tipe kolom : K4
- Tinggi kolom ( $H_{kolom}$ ) : 357 cm
- Bentang balok ( $L_{balok}$ ) : 500 cm
- Dimensi balok ( $b_{balok}$ ) : 20 cm
- Dimensi balok ( $h_{balok}$ ) : 35 cm

❖ Ketentuan Perencanaan :

$$\frac{I_{kolom}}{H_{kolom}} \geq \frac{I_{balok}}{L_{balok}}$$

❖ Perhitungan perencanaan :

$$\frac{\frac{1}{12} b \cdot h^3}{H_{kolom}} \geq \frac{\frac{1}{12} b \cdot h^3}{L_{balok}}$$

Dimana,  $b_{kolom} = h_{kolom}$  sehingga

$$\frac{\frac{1}{12} \cdot h^4}{H_{kolom}} \geq \frac{\frac{1}{12} b \cdot h^3}{L_{balok}}$$

$$\frac{\frac{1}{12} \cdot h^3}{357 \text{ cm}} \geq \frac{\frac{1}{12} 20 \cdot 35^3}{670}$$

$$h \geq 25,999 \text{ cm}$$

$$h \approx 30 \text{ cm}$$

Maka direncanakan dimensi kolom dengan  $H_{kolom} = 357 \text{ cm}$  adalah  $30 \times 30 \text{ cm}$ .

#### 4.1.3. Perencanaan Dimensi Sloof

Adapun data-data perencanaan, gambar denah perencanaan, ketentuan perencanaan, perhitungan perencanaan, dan hasil gambar perencanaan dimensi sloof (S) struktur bangunan ruko 4 lantai Surabaya adalah sebagai berikut :

❖ Data-data perencanaan :

- Tipe balok : B3
- As balok : 1 (A-B)
- Bentang balok ( $L_{balok}$ ) : 670 cm
- Kuat leleh tulangan lentur ( $f_{y\text{lentur}}$ ) : 400 Mpa

❖ Perhitungan perencanaan :

$$h \geq \frac{L}{16} \times \left(0,4 + \frac{f_y}{700}\right)$$

$$h \geq \frac{670}{16} \times \left(0,4 + \frac{400}{700}\right)$$

$$h \geq 40,68 \text{ cm}$$

$$h \approx 45 \text{ cm}$$

$$b \geq \frac{1}{2} \times h$$

$$b \geq \frac{1}{2} \times 45 \text{ cm}$$

$$b \geq 22,5 \text{ cm}$$

$$b \approx 25 \text{ cm}$$

Maka direncanakan dimensi sloof dengan ukuran 30/50.

### **Kesimpulan:**

Dari hasil perhitungan perencanaan diatas, maka dapat disimpulkan gedung tersebut menggunakan struktur dengan dimensi sebagai berikut :

#### **1. Balok**

1. Balok Induk (B1) : 30/50
2. Balok Induk (B2) : 20/35
3. Balok Anak (B3) : 20/35
4. Balok Anak (B4) : 15/25
5. Sloof : 30/50

#### **2. Kolom**

1. K1 : 40/40
2. K2 : 35/35
3. K3 : 30/30

#### 4.1.4. Perencanaan Tebal Plat

Adapun data-data perencanaan, gambar denah perencanaan, perhitungan perencanaan, dan hasil akhir gambar perencanaan pelat lantai 1 Tipe T adalah sebagai berikut :

❖ Data-data perencanaan :

- Tipe plat : P1
- Kuat tekan beton ( $f_c'$ ) : 30 Mpa
- Kuat leleh tulangan ( $f_y$ ) : 400 Mpa
- Rencana tebal pelat : 120 mm
- Bentang pelat sumbu panjang ( $L_y$ ) : 670 cm
- Bentang pelat sumbu pendek ( $L_x$ ) : 500 cm
- Balok B1 : 25/45
- Balok B1 : 25/45
- Balok B1 : 25/45
- Balok B1 : 25/45

❖ Perhitungan perencanaan :

- Bentang bersih pelat sumbu panjang :

$$L_n = L_y - \frac{b_w}{2} - \frac{b_w}{2}$$

$$L_n = 670 - \frac{25}{2} - \frac{25}{2}$$

$$L_n = 645 \text{ cm}$$

- Bentang bersih pelat sumbu pendek :

$$S_n = l_x - \frac{b_w}{2} - \frac{b_w}{2}$$

$$S_n = 500 - \frac{25}{2} - \frac{25}{2}$$

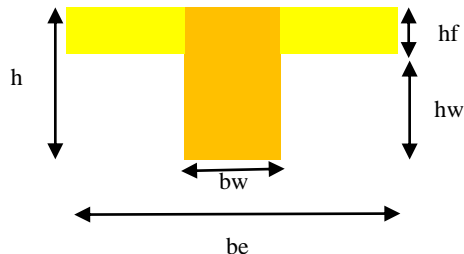
$$S_n = 475 \text{ cm}$$

- Rasio antara bentang bersih sumbu panjang terhadap bentang bersih sumbu pendek,

$$\beta_n = \frac{L_n}{S_n} = \frac{645}{475} = 1,358 < 2,0 \text{ (Two ways slab)}$$

➤ **Balok B1 As B 2-3 (25/45)**

- Menentukan lebar efektif sayap balok T



**(SNI 03-2847-2013 pasal 13.2.4.)**

$$B_e = b_w + 2h_w \leq b_w + 8h_f$$

$$\begin{aligned} B_{e1} &= b_w + 2(h-h_f) \\ &= 25 + 2(45-12) \\ &= 91 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B_{e2} &= b_w + 8(h-h_f) \\ &= 25 + 8(12) \\ &= 121 \text{ cm} \end{aligned}$$

**(SNI 03-2847-2013 pasal 13.2.4.)**

Dipilih nilai terkecil antara  $B_{e1}$  dan  $B_{e2}$ , sehingga didapatkan  $B_e = 91 \text{ cm}$ .

- Faktor modifikasi (**Desain Beton Bertulang**  
**CHU-KIA WANG CHARLES**  
**G.SALMON 16.4.2.b)**



$$K = \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{h_f}{h}\right) \times [4 - 6\left(\frac{h_f}{h}\right) + 4\left(\frac{h_f}{h}\right)^2 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{h_f}{h}\right)^3]}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{h_f}{h}\right)}$$

$$K = \frac{1 + \left(\frac{91}{25} - 1\right) \times \left(\frac{12}{45}\right) \times [4 - 6\left(\frac{12}{45}\right) + 4\left(\frac{12}{45}\right)^2 + \left(\frac{91}{25} - 1\right) \times \left(\frac{12}{45}\right)^3]}{1 + \left(\frac{91}{25} - 1\right) \times \left(\frac{12}{45}\right)}$$

$$K = 1,72$$

- Momen inersia penampang T

$$I_b = k \times b_w \times \left(\frac{h}{t}\right)^3$$

$$I_b = 1,72 \times 25 \times \left(\frac{45}{12}\right)^3$$

$$I_b = 325886,4824 \text{ cm}^4$$

- Momen inersia lajur pelat

$$I_p = b_p \times \frac{t^3}{12}$$

$$I_p = 100 \times \frac{12^3}{12}$$

$$I_p = 14400 \text{ cm}^4$$

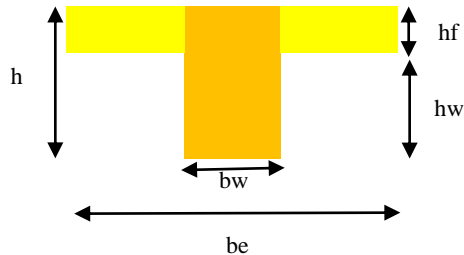
- Rasio kekakuan balok terhadap pelat

$$\alpha_1 = \frac{I_b}{I_p}$$

$$\alpha_1 = \frac{325886,4825}{14400} = 22,63$$

➤ **Balok B1 As B' 2-3 (25/45)**

- Menentukan lebar efektif sayap balok T



(SNI 03-2847-2013 pasal 13.2.4.)

$$B_e = b_w + 2h_w \leq b_w + 8h_f$$

$$\begin{aligned} B_{e1} &= b_w + 2(h - h_f) \\ &= 25 + 2(45 - 12) \\ &= 91 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B_{e2} &= b_w + 8(h - h_f) \\ &= 25 + 8(12) \\ &= 121 \text{ cm} \end{aligned}$$

(SNI 03-2847-2013 pasal 13.2.4.)

Dipilih nilai terkecil antara  $B_{e1}$  dan  $B_{e2}$ , sehingga didapatkan  $B_e = 91 \text{ cm}$ .

- Faktor modifikasi (**Desain Beton Bertulang**  
**CHU-KIA WANG CHARLES**  
**G.SALMON 16.4.2.b)**

$$K = \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{h_f}{h}\right) \times \left[4 - 6\left(\frac{h_f}{h}\right) + 4\left(\frac{h_f}{h}\right)^2 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{h_f}{h}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{h_f}{h}\right)}$$

$$K = \frac{1 + \left(\frac{91}{25} - 1\right) \times \left(\frac{12}{45}\right) \times \left[4 - 6\left(\frac{12}{45}\right) + 4\left(\frac{12}{45}\right)^2 + \left(\frac{91}{25} - 1\right) \times \left(\frac{12}{45}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{91}{25} - 1\right) \times \left(\frac{12}{45}\right)}$$

$$K = 1,72$$

- Momen inersia penampang T
- $$I_b = k \times b_w \times \left(\frac{h}{t}\right)^3$$

$$I_b = 1,72 \times 25 \times \left(\frac{45}{12}\right)^3$$

$$I_b = 325886,4824 \text{ cm}^4$$

- Momen inersia lajur pelat

$$I_p = b_p \times \frac{t^3}{12}$$

$$I_p = 100 \times \frac{12^3}{12}$$

$$I_p = 14400 \text{ cm}^4$$

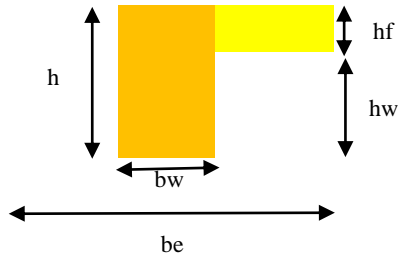
- Rasio kekakuan balok terhadap pelat

$$\alpha_2 = \frac{I_b}{I_p}$$

$$\alpha_2 = \frac{325886,4825}{14400} = 22,63$$

➤ **Balok B1 As A 2-3 (25/45)**

- Menentukan lebar efektif sayap balok T



(SNI 03-2847-2013 pasal 13.2.4.)

$$B_e = h \leq 4h_f$$

$$B_{e1} = h$$

$$= 45 \text{ cm}$$

$$B_{e2} = 4(h_f)$$

$$= 4(12)$$

$$= 48 \text{ cm}$$

(SNI 03-2847-2013 pasal 13.2.4.)

Dipilih nilai terkecil antara  $B_{e1}$  dan  $B_{e2}$ , sehingga didapatkan  $B_e = 45$  cm.

- Faktor modifikasi (**Desain Beton Bertulang**  
**CHU-KIA WANG CHARLES**  
**G.SALMON 16.4.2.b)**

$$K = \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{h_f}{h}\right) \times [4 - 6\left(\frac{h_f}{h}\right) + 4\left(\frac{h_f}{h}\right)^2 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{h_f}{h}\right)^3]}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{h_f}{h}\right)}$$

$$K = \frac{1 + \left(\frac{45}{25} - 1\right) \times \left(\frac{12}{45}\right) \times [4 - 6\left(\frac{12}{45}\right) + 4\left(\frac{12}{45}\right)^2 + \left(\frac{45}{25} - 1\right) \times \left(\frac{12}{45}\right)^3]}{1 + \left(\frac{45}{25} - 1\right) \times \left(\frac{12}{45}\right)}$$

$$K = 1,0$$

- Momen inersia penampang T

$$I_b = k \times b_w \times \left(\frac{h}{t}\right)^3$$

$$I_b = 1,0 \times 25 \times \left(\frac{45}{12}\right)^3$$

$$I_b = 189843,75 \text{ cm}^4$$

- Momen inersia lajur pelat

$$I_p = b_p \times \frac{t^3}{12}$$

$$I_p = 100 \times \frac{12^3}{12}$$

$$I_p = 14400 \text{ cm}^4$$

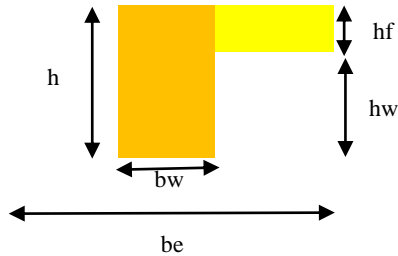
- Rasio kekakuan balok terhadap pelat

$$\alpha_3 = \frac{I_b}{I_p}$$

$$\alpha_3 = \frac{189843,75}{14400} = 13,20$$

➤ **Balok B1 As A' 2-3 (25/45)**

- Menentukan lebar efektif sayap balok T



(SNI 03-2847-2013 pasal 13.2.4.)

$$B_e = h \leq 4h_f$$

$$B_{e1} = h \\ = 45 \text{ cm}$$

$$B_{e2} = 4(h_f) \\ = 4(12) \\ = 48 \text{ cm}$$

(SNI 03-2847-2013 pasal 13.2.4.)

Dipilih nilai terkecil antara  $B_{e1}$  dan  $B_{e2}$ , sehingga didapatkan  $B_e = 45 \text{ cm}$ .

- Faktor modifikasi (**Desain Beton Bertulang**  
**CHU-KIA WANG CHARLES**  
**G.SALMON 16.4.2.b)**

$$K = \frac{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{h_f}{h}\right) \times \left[4 - 6\left(\frac{h_f}{h}\right) + 4\left(\frac{h_f}{h}\right)^2 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{h_f}{h}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{b_e}{b_w} - 1\right) \times \left(\frac{h_f}{h}\right)}$$

$$K = \frac{1 + \left(\frac{45}{25} - 1\right) \times \left(\frac{12}{45}\right) \times \left[4 - 6\left(\frac{12}{45}\right) + 4\left(\frac{12}{45}\right)^2 + \left(\frac{45}{25} - 1\right) \times \left(\frac{12}{45}\right)^3\right]}{1 + \left(\frac{45}{25} - 1\right) \times \left(\frac{12}{45}\right)}$$

$$K = 1,0$$

- Momen inersia penampang T

$$I_b = k \times b_w \times \left(\frac{h}{t}\right)^3$$

$$I_b = 1,0 \times 25 \times \left(\frac{45}{12}\right)^3$$

$$I_b = 189843,75 \text{ cm}^4$$

- Momen inersia lajur pelat

$$I_p = b_p \times \frac{t^3}{12}$$

$$I_p = 100 \times \frac{12^3}{12}$$

$$I_p = 14400 \text{ cm}^4$$

- Rasio kekakuan balok terhadap pelat

$$\alpha_4 = \frac{I_b}{I_p}$$

$$\alpha_4 = \frac{189843,75}{14400} = 13,20$$

- ❖ Dari keempat balok diatas didapatkan rata-rata :

$$\alpha_{fm} = \frac{\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4}{4}$$

(SNI 03-2847-2013 pasal 9.5.3.3(c))

$$\alpha_{fm} = \frac{22,63 + 22,63 + 13,20 + 13,20}{4}$$

$$\alpha_{fm} = 20,27 > 2,0$$

Karena nilai  $\alpha_{fm} > 2,0$ , maka digunakan persamaan

$$t = L_n \left( \frac{0,8 + \frac{f_y}{1400}}{36 + 9\beta} \right) \geq 90 \text{ mm}$$

$$t = L_n \left( \frac{0,8 + \frac{f_y}{1400}}{36 + 9\beta} \right) \geq 90 \text{ mm}$$

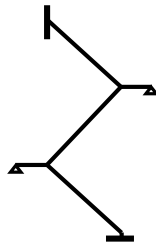
$$t = 645 \left( \frac{0,8 + \frac{400}{1400}}{36 + 9(1,358)} \right) = 160,44 \text{ mm} \geq 90 \text{ mm}$$

Sehingga digunakan tebal plat lantai  $t=150 \text{ mm}$ .

#### 4.1.5. Perencanaan Dimensi Tangga

Permodelan struktur tangga ini menggunakan program SAP 2000. Adapun data-data yang di *input* alah sebagai berikut :

1. Perletakan = jepit-sendi-sendi-jepit
2. Pembebanan = *Dead Load* (DL) dan *Life Load* (LL)
3. Kombinasi =  $1,2DL + 1,6LL$
4. Distribusi = (*Uniform Shell Load*) untuk semua beban DL dan LL besarnya sesuai dengan pembebanan tangga



**Gambar 4.1.** Pemodelan Perletakan Tangga

❖ Data-data perencanaan :

Tipe tangga	: Tipe 1
Panjang datar tangga 1	: 296 cm
Panjang datar tangga 2	: 308 cm
Tinggi Tangga	: 450 cm
Tinggi plat bordes 1	: 92 cm
Tinggi plat bordes 2	: 192 cm
Tebal plat tangga	: 12 cm
Tebal plat bordes	: 12 cm
Lebar injakan (i)	: 28 cm
Tinggi injakan (t)	: 18 cm

❖ Perhitungan perencanaan :

Perhitungan jumlah anak tangga

- Untuk jumlah anak tangga lantai dasar ke lantai 1  
Diketahui  $H = 450$  cm  
Syarat,

$$\begin{aligned}
 2t+i &= (60\ 65)\text{ cm} \\
 &= 2(18)+(28)\text{ cm} \\
 &= 64\text{ cm (OK, dapat digunakan)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Sigma \text{anak tangga} &= \frac{H}{t} \\
 \Sigma \text{anak tangga} &= \frac{450}{18}
 \end{aligned}$$

$$\Sigma \text{anak tangga} = 25 \text{ anak tangga}$$

- Perhitungan panjang miring tangga 1 :

$$\text{Jumlah tanjakan (nt)} = \frac{\text{tinggi bordes}_1}{\text{tinggi injakan (i)}}$$

$$\text{Jumlah tanjakan (nt)} = \frac{92}{18}$$

$$\text{Jumlah tanjakan (nt)} = 5$$

$$\text{Jumlah injakan (ni)} = \text{nt} - 1$$

$$\text{Jumlah injakan (ni)} = 5 - 1$$

$$\text{Jumlah injakan (ni)} = 4$$

$$L = \sqrt{(\text{tinggi bordes})^2 + (\text{panjang datar tangga} - \text{lebar bordes})^2}$$

$$L = \sqrt{(92)^2 + (296 - 100)^2}$$

$$L = 131,6\text{ cm}$$

- Sudut kemiringan tangga 1 :

$$\alpha_1 = \arctan \frac{\text{tinggi bordes}}{\text{lebar tangga}}$$

$$\alpha_1 = \arctan \frac{92}{296}$$

$$\alpha_1 = 24,66^\circ$$

$$\alpha_1 \approx 25^\circ$$

Syarat sudut kemiringan tangga

$$25^\circ \leq \alpha_1 \leq 40^\circ$$

$$25^\circ \leq 25^\circ \leq 40^\circ \text{ (Memenuhi)}$$

- Perhitungan panjang miring tangga 2 :

$$\text{Jumlah tanjakan (nt)} = \frac{\text{tinggi bordes}_1}{\text{tinggi injakan (i)}}$$



$$\text{Jumlah tanjakan (nt)} = \frac{192}{18}$$

$$\text{Jumlah tanjakan (nt)} = 10,67$$

$$\text{Jumlah tanjakan (nt)} \approx 11$$

$$\text{Jumlah injakan (ni)} = \text{nt} - 1$$

$$\text{Jumlah injakan (ni)} = 11 - 1$$

$$\text{Jumlah injakan (ni)} = 10$$

$$L = \sqrt{(\text{tinggi bordes})^2 + (\text{panjang datar tangga} - \text{lebar bordes})^2}$$

$$L = \sqrt{(192)^2 + (308 - 100)^2}$$

$$L = 339,5 \text{ cm}$$

➤ Sudut kemiringan tangga 1 :

$$\alpha_1 = \arctan \frac{\text{tinggi bordes}}{\text{lebar tangga}}$$

$$\alpha_1 = \arctan \frac{192}{308}$$

$$\alpha_1 = 31,94^\circ$$

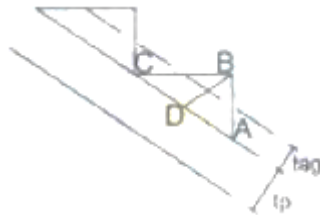
$$\alpha_1 \approx 32^\circ$$

Syarat sudut kemiringan tangga

$$25^\circ \leq \alpha_1 \leq 40^\circ$$

$$25^\circ \leq 32^\circ \leq 40^\circ \quad (\text{Memenuhi})$$

Tebal plat ekuivalen tangga



**Gambar 4.2.** Potongan 1 Tangga

$$BC = 28 \text{ cm}$$

$$AB = 18 \text{ cm}$$

$$AC = \sqrt{28^2 + 18^2}$$

$$AC = 33,29 \text{ cm}$$

$$\frac{BD}{AB} = \frac{BC}{AC}$$

$$BD = \frac{BC \times AB}{AC}$$

$$BD = \frac{28 \times 18}{33,29}$$

$$BD = 15,14 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} \text{Tag} &= \frac{2}{3} \times BD \\ &= \frac{2}{3} \times 15,14 \\ &= 10,09 \text{ cm} \end{aligned}$$

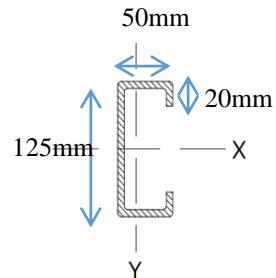
Maka tebal efektif pelat tangga = 10,09 cm  $\approx$  12 cm.

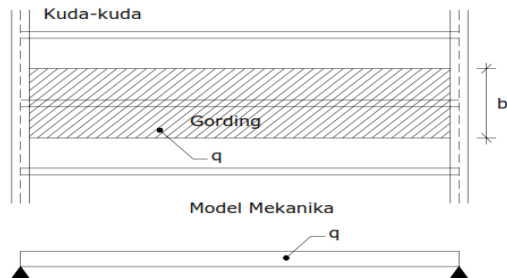
#### 4.1.6. Perencanaan Struktur Atap Baja

- ❖ Data-data perencanaan :
  - Penutup atap bangunan : Genteng metal
  - Sudut atap :  $15^\circ$
  - Dinding bangunan : Tertutup
  - Bahan dinding bangunan : Batu bata
  - Mutu baja : BJ41
  - Konstruksi atap : Rangka Kaku
  - Jarak antarkuda-kuda : 500 cm
  - Jarak melintang ( $B_1$ ) : 670 cm
  - Jarak melintang ( $B_2$ ) : 500 cm
  - Tinggi atap baja : 100 cm
  - $E_s$  : 200000 Mpa
  - $F_y$  : 250 Mpa
  - $F_u$  : 410 Mpa

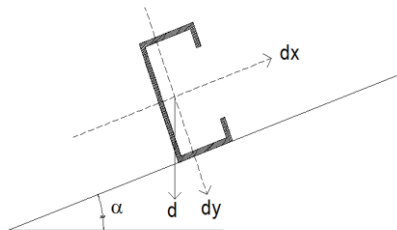
##### 4.1.6.1. Perencanaan Gording

- ❖ Data-data perencanaan gording :
  - Sudut kemiringan ( $\alpha$ ) =  $15^\circ$
  - $F_y$  = 2500 Kg/cm<sup>2</sup>
  - Berat genteng metal = 4,7 kg/m<sup>2</sup>
  - Panjang gording (L) = 500 cm
  - Jarak antar kuda-kuda = 500 cm
  - Jarak antar gording (b) = 140 cm
  - Jumlah penggantung = 2 buah
  - Direncanakan profil gording LLC 125.50.20.4
    - $W = 7,5 \text{ kg/cm}^2$
    - $I_x = 217 \text{ cm}^4$
    - $I_y = 33,1 \text{ cm}^4$
    - $Z_x = 34,7 \text{ cm}^3$
    - $Z_y = 9,38 \text{ cm}^3$
    - $Ag = 9,469 \text{ cm}^2$





**Gambar 4.3.** Pemodelan Gording



**Gambar 4.4.** Gaya-Gaya yang Bekerja pada Gording

❖ Perhitungan beban pada gording :

- Beban mati

- Berat penutup atap =  $1,4 \text{ m} \times 4,5 \text{ kg/m}^2$   
=  $6,3 \text{ kg/m}$

- Berat Gording =  $\frac{7,50 \text{ kg/m}}{qD}$   
=  $13,8 \text{ kg/m}$

- Berat lainnya (10 % x qD)  
=  $10\% \times 13,8 \text{ kg/m}$   
=  $\frac{1,38 \text{ kg/m}}{qD \text{ Total}}$

$qD \text{ Total} = 15,18 \text{ kg/m}$

Arah X :

$$qX = qD \text{ Total} \times \sin \alpha = 15,18 \text{ kg/m} \times \sin 15^\circ = 3,93 \text{ kg/m}$$

Arah Y :

$$qY = qD \text{ Total} \times \cos \alpha = 15,18 \text{ kg/m} \times \cos 15^\circ$$

$$= 14,66 \text{ kg/m}$$

- **Beban hidup**

- **Beban air hujan (merata)**

$$R = 0,0098 \times (d_h + d_s)$$

**(SNI 1727:2013 Pasal 8.3)**

$$\text{Dimana, } d_h = a \cdot V^2 / (2g)$$

Misalkan diambil,

$$a = 1,25$$

$$V = 3,05$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$d_s = 20 \text{ mm}$$

$$d_h = 1,25 \cdot (3,05)^2 / (2 \cdot 9,81) \\ = 0,194$$

$$R = 0,0098 \times (0,194 + 20) \\ = 19,790 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Beban yang dipakai (qL)} = 19,79 \text{ kg/m}^2$$

Arah X :

$$qX = qL \times b \times \sin \alpha \\ = 19,79 \text{ Kg/m}^2 \times 1,4 \text{ m} \times \sin 15^\circ \\ = 7,25 \text{ kg/m}$$

Arah Y :

$$qY = qL \times b \times \cos \alpha \\ = 19,79 \text{ kg/m}^2 \times 1,4 \text{ m} \times \cos 15^\circ \\ = 27,05 \text{ kg/m}$$

- **Beban pekerja (terpusat)**

$$\text{Beban pekerja} = 96 \text{ kg}$$

**(SNI 1727:2013)**

Arah X :

$$pX = qL \times \sin \alpha \\ = 96 \text{ kg} \times \sin 15^\circ \\ = 24,85 \text{ kg}$$

Arah Y :

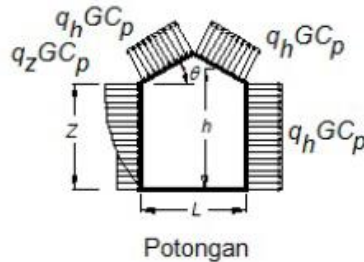
$$pY = qL \times \cos \alpha \\ = 96 \text{ Kg/m} \times \cos 15^\circ \\ = 92,73 \text{ kg}$$

- **Beban angin (merata)**  
Berdasarkan SNI 1727:2013 perhitungan beban angin adalah sebagai berikut :
  1. Kategori resiko bangunan = 4  
 $I_w = 1$  (**Tabel SNI 1727:2013 1.5-1**)
  2. Kecepatan angin dasar ( $V$ ) = 9,7 m/s
  3. Faktor-faktor yang memengaruhi perhitungan
 

Faktor arah angin ( $K_d$ )	= 0,85
Kategori exposure	= B
Faktor topografi ( $K_{zt}$ )	= 1,00
Faktor efek tiupan angin ( $G$ )	= 0,85
Klasifikasi ketertutupan	= tertutup
Koefisien tekanan internal ( $G_{cpi}$ )	= $\pm 0,18$
  4. Koefisien exposure tekanan velostatis ( $K_z/K_h$ )
 

$z$	= 1
$z_g$	= 365,76
$\alpha$	= 7
$K_h$	= 0,8214
$K_z = 2,01 \frac{z^{2\alpha}}{z_g^{2\alpha}}$	
$K_z = 2,01 \frac{1^{2(7)}}{365,76^{2(7)}}$	
$K_z = 0,3723$	
  5. Tekanan Velositas
 

$q_z = 0,00256 \cdot K_z \cdot K_{zt} \cdot K_d \cdot V^2$	
( <b>SNI 1727:2013 Pasal 27.3.2</b> )	
$q_z = 0,00256 \cdot (0,3723)(1,0)(0,85) \cdot (9,7)^2$	
$q_z = 18,33 \text{ N/m}^2$	
$q_h = 0,00256 \cdot K_h \cdot K_{zt} \cdot K_d \cdot V^2$	
( <b>SNI 1727:2013 Pasal 27.3.2</b> )	
$q_h = 0,00256 \cdot (0,8214)(1,0)(0,85)(9,7)^2$	
$q_h = 40,44 \text{ N/m}^2$	
  6. Tekanan Angin



**Gambar 4.5.** Tekanan Angin yang Bekerja pada Bangunan

$$\begin{aligned}
 C_p \text{ (angin datang)} &= 0,8 \\
 C_p \text{ (angin pergi)} &= -0,33 \\
 C_p \text{ (dinding tepi)} &= -0,7 \\
 \text{Angin datang} &= q_h \cdot G \cdot C_p \\
 &= (40,44 \text{ N/m}^2)(0,85)(0,8) \\
 &= 27,4992 \text{ N/m}^2 \\
 &= 2,75 \text{ kg/m}^2 \\
 \text{Angin pergi} &= q_h \cdot G \cdot C_p \\
 &= (40,44 \text{ N/m}^2)(0,85)(0,3) \\
 &= 10,3122 \text{ N/m}^2 \\
 &= 1,03 \text{ kg/m}^2 \\
 \text{Angin tepi} &= q_z \cdot G \cdot C_p \\
 &= (18,33 \text{ N/m}^2)(0,85)(0,7) \\
 &= 10,90635 \text{ N/m}^2 \\
 &= 1,09 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

Diambil tekanan angin terbesar =  $2,75 \text{ kg/m}^2$

$$Q_w = 2,75 \text{ kg/m}^2 \times \text{jarak antargording}$$

$$Q_w = 2,75 \text{ kg/m}^2 \times 1,4 \text{ m}$$

$$Q_w = 3,85 \text{ kg/m}$$

$$Q_{wx} = Q_w \times \sin \alpha$$

$$= 3,85 \text{ kg/m} \times \sin 15^\circ$$

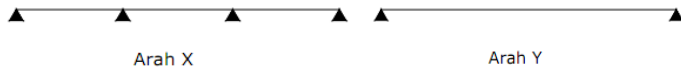
$$= 1,0 \text{ kg/m}$$

$$Q_{wy} = Q_w \times \cos \alpha$$

$$= 3,85 \text{ kg/m} \times \cos 15^\circ$$

$$= 3,719 \text{ kg/m}$$

❖ Perhitungan momen pada gording :



**Gambar 4.6.** Pemodelan Perletakan pada Gording

Sesuai dengan gambar mekanika di atas :

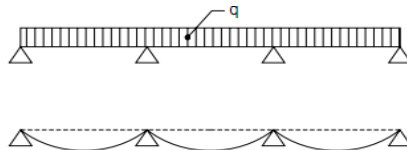
Untuk arah x terdapat perletakan di karenakan di antara kuda-kuda terdapat 2 buah penggantung gording.

Untuk arah y hanya terdapat 2 perletakan yaitu pada kuda-kuda.

- Akibat beban mati (beban merata)

$$\begin{aligned}
 - \quad M_d x &= \frac{1}{8} q dx \cdot \left(\frac{L}{3}\right)^2 \\
 &= \frac{1}{8} 3,93 \text{ kg/m} \cdot \left(\frac{5 \text{ m}}{3}\right)^2 \\
 &= 1,36 \text{ kg.m}
 \end{aligned}$$

Nilai q merupakan beban mati total dari berat penutup atap + berat sendiri gording + 10 % berat lain-lain sesuai dengan perhitungan beban mati sebesar 3,93 kg/m.

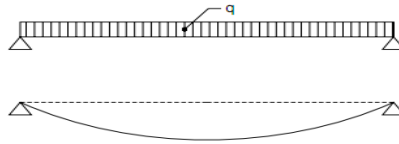


**Gambar 4.7.** Bidang Momen yang Terjadi Akibat Beban Mati Arah X

$$\begin{aligned}
 - \quad M_d xy &= \frac{1}{8} q dy \cdot (L)^2 \\
 &= \frac{1}{8} .14,66 \text{ kg/m} \cdot (5 \text{ m})^2 \\
 &= 45,82 \text{ kg.m}
 \end{aligned}$$



Nilai  $q$  merupakan beban mati total dari berat penutup atap + berat sendiri gording + 10 % berat lain-lain sesuai dengan perhitungan beban mati sebesar 24,33 kg/m.

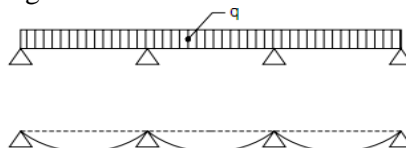


**Gambar 4.8.** Bidang Momen yang Terjadi Akibat Beban Mati Arah Y

- Akibat beban hidup
  - Beban hujan ( Merata )

$$\begin{aligned}
 Ml \ x &= \frac{1}{8} q L h \cdot \left(\frac{L}{3}\right)^2 \\
 &= \frac{1}{8} 7,25 \text{ kg/m} \cdot \left(\frac{5 \text{ m}}{3}\right)^2 \\
 &= 2,52 \text{ kg.m}
 \end{aligned}$$

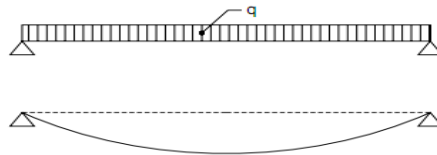
Nilai  $q$  merupakan beban hujan arah x sesuai dengan perhitungan beban air hujan sebesar 7,25 kg/m.



**Gambar 4.9.** Bidang Momen yang Terjadi Akibat Beban Hujan Arah X

$$\begin{aligned}
 Ml \ y &= \frac{1}{8} q L h \cdot (L)^2 \\
 &= \frac{1}{8} 27,05 \frac{\text{kg}}{\text{m}} \cdot (5 \text{ m})^2 \\
 &= 84,52 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

Nilai  $q$  merupakan beban hujan arah  $y$  sesuai dengan perhitungan beban air hujan sebesar 27,05 kg/m.

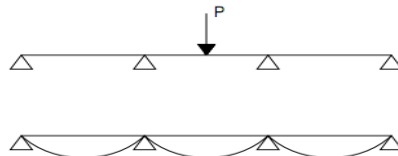


**Gambar 4.10.** Bidang Momen yang Terjadi Akibat Beban Hujan Arah  $Y$

- Beban pekerja ( Terpusat )

$$\begin{aligned} M_{p\ x} &= \frac{1}{4} Q_{px} \cdot \left(\frac{L}{3}\right)^2 \\ &= \frac{1}{4} 24,85 \text{ kg} \cdot \left(\frac{5 \text{ m}}{3}\right)^2 \\ &= 10,35 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

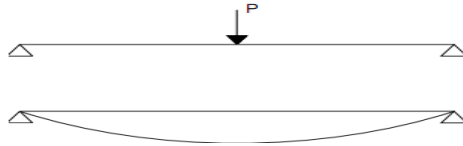
Nilai  $q$  merupakan beban pekerja arah  $x$  sesuai dengan perhitungan beban hidup (pekerja) sebesar 24,85 kg.



**Gambar 4.11.** Bidang Momen yang Terjadi Akibat Beban Hidup Terpusat Arah  $X$

$$\begin{aligned} M_{p\ y} &= \frac{1}{4} Q_{py} \cdot L^2 \\ &= \frac{1}{4} 92,73 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \cdot (5 \text{ m})^2 \\ &= 40,25 \text{ kgm} \end{aligned}$$

Nilai  $q$  merupakan beban pekerja arah  $x$  sesuai dengan perhitungan beban hidup (pekerja) sebesar 92,73 kg.



**Gambar 4.12.** Bidang Momen yang Terjadi Akibat Beban Hidup Terpusat Arah Y

- Akibat beban angin  
Beban angin bekerja tegak lurus dengan atap sehingga beban angin bekerja pada arah  $y$ .

$$\begin{aligned} M_{w\ x} &= \frac{1}{8} Q_{wx} \cdot \left(\frac{L}{3}\right)^2 \\ &= \frac{1}{8} 1,0 \text{ kg/m} \cdot \left(\frac{5 \text{ m}}{3}\right)^2 \\ &= 0,35 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

Nilai  $q$  merupakan beban angin arah  $x$  sesuai dengan perhitungan beban angin sebesar 1,0 kg/m.

$$\begin{aligned} M_{w\ y} &= \frac{1}{8} Q_{wy} \cdot (L)^2 \\ &= \frac{1}{8} 3,719 \text{ kg/m} \cdot (5 \text{ m})^2 \\ &= 11,62 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

Nilai  $q$  merupakan beban angin arah  $y$  sesuai dengan perhitungan beban angin sebesar 3,719 kg/m.

❖ Perhitungan momen ultimate pada gording :

- $M_u = 1,4D$   
 $M_{u\ x} = 1,4 \times (1,36 \text{ kg.m})$   
 $= 1,904 \text{ kg.m}$   
 $M_{u\ y} = 1,4 \times (45,82 \text{ kg.m})$   
 $= 64,148 \text{ kg.m}$
- $M_u = 1,2D + 1,6L_a + 0,8W$   
 $M_{u\ x} = 1,2(1,36) + 1,6(10,35) + 0,8(0,35)$

$$\begin{aligned}
 &= 18,472 \text{ kg.m} \\
 \text{Mu y} &= 1,2(45,82)+1,6(115,91)+0,8(11,62) \\
 &= 249,736 \text{ kg.m} \\
 \bullet \text{ Mu} &= 1,2D+1,6H+0,8W \\
 \text{Mu x} &= 1,2(1,36)+1,6(2,52)+0,8(0,35) \\
 &= 5,944 \text{ kg.m} \\
 \text{Mu y} &= 1,2(45,82)+1,6(84,52)+0,8(11,62) \\
 &= 199,512 \text{ kg.m} \\
 \bullet \text{ Mu} &= 0,9D+1,3W \\
 \text{Mu x} &= 0,9(1,36)+1,3(0,35) \\
 &= 1,679 \text{ kg.m} \\
 \text{Mu y} &= 0,9(45,82)+1,3(11,62) \\
 &= 56,344 \text{ kg.m}
 \end{aligned}$$

**Tabel 4.1.** Rekapitulasi Momen Ultimate Gording

No	Kombinasi Pembebanan	Sumbu X (kg.m)	Sumbu Y (kg.m)
1	1,4D	1,904	64,148
2	1,2D+1,6La+0,8W	18,472	249,736
3	1,2D+1,6H+0,8W	5,944	199,512
4	0,9D+1,3W	1,679	56,344

Mu menentukan (diambil nilai terbesar dari keseluruhan momen ultimate).

$$\text{Mu x} = 18,472 \text{ kg.m}$$

$$\text{Mu y} = 249,736 \text{ kg.m}$$

❖ Kontrol kelangsingan penampang :

Klasifikasi penampang untuk tekuk lokal (**SNI 1729:2015 B4**).

- Untuk kondisi tekan

Cek kelangsingan (**SNI 1729:2015 Tabel B4.1a**)

$$\begin{aligned}
 - \text{ Rasio terhadap lebar} &= b/t \\
 &= 50/4 \\
 &= 12,5
 \end{aligned}$$

Batasan rasio terhadap lebar

$$\begin{aligned}\lambda_r &= 0,56 \times \sqrt{E/f_y} \\ &= 0,56 \times \sqrt{200000/250} \\ &= 15,840\end{aligned}$$

Syarat,  $b/t > \lambda_r$ , **memenuhi**.

- Rasio terhadap lebar  $= b/t$   
 $= 50/4$   
 $= 12,5$

Batasan rasio terhadap lebar

$$\begin{aligned}\lambda_r &= 1,49 \times \sqrt{E/f_y} \\ &= 1,49 \times \sqrt{200000/250} \\ &= 42,123\end{aligned}$$

Syarat,  $b/t > \lambda_r$ , **memenuhi**.

- Untuk kondisi lentur (**SNI 1729:2015 Tabel B4.1b**)

Cek kekompakan penampang dengan syarat,

- Kompak,  $b/t < \lambda_p$
- Tidak kompak,  $\lambda_p < b/t < \lambda_r$
- Rasio tebal terhadap lebar  $= b/t$   
 $= 50/4$   
 $= 12,5$

Batasan rasio tebal-lebar ( $\lambda_p$ ) Kompak

$$\begin{aligned}&= 0,38 \times \sqrt{E/f_y} \\ &= 0,38 \times \sqrt{200000/250} \\ &= 10,748\end{aligned}$$

Batasan rasio tebal-lebar ( $\lambda_r$ ) Non-kompak

$$\begin{aligned}&= 1,00 \times \sqrt{E/f_y} \\ &= 1,00 \times \sqrt{200000/250} \\ &= 28,284\end{aligned}$$

Syarat penampang kompak,  $b/t < \lambda_p$  (**memenuhi**)

- Rasio tebal terhadap lebar  $= h/t_w$   
 $= 125/4$   
 $= 29,25$

Batasan rasio tebal-lebar ( $\lambda_p$ ) Kompak

$$\begin{aligned}&= 3,76 \times \sqrt{E/f_y} \\ &= 3,76 \times \sqrt{200000/250}\end{aligned}$$

$$= 106,3489$$

Batasan rasio tebal-lebar ( $\lambda_r$ ) Non-kompak

$$= 5,7 \times \sqrt{E/f_y}$$

$$= 5,7 \times \sqrt{200000/250}$$

$$= 161,2203$$

Syarat penampang kompak,  $h/t_w < \lambda_p$  (**memenuhi**)

❖ Kontrol profil gording :

$$\begin{aligned} \bullet \quad M_n x &= Z_y \times f_y \\ &= 9,38 \text{ cm}^3 \times 2500 \text{ kg/cm}^2 : 100 \\ &= 827,5 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bullet \quad M_n y &= Z_x \times f_y \\ &= 34,7 \text{ cm}^3 \times 2500 \text{ kg/cm}^2 : 100 \\ &= 867,5 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

Kontrol dengan rumus interaksi :

$$\begin{aligned} \left\{ \frac{M_{ux}}{0,9 \cdot M_{nx}} \right\} + \left\{ \frac{M_{uy}}{0,9 \cdot M_{ny}} \right\} &< 1,00 \\ \left\{ \frac{18,472}{0,9(827,5)} \right\} + \left\{ \frac{249,736}{0,9(867,5)} \right\} &< 1,00 \\ 0,3447 &< 1,00 \end{aligned}$$

(**memenuhi**)

❖ Kontrol lendutan yang terjadi :

Lendutan yang diijikan berdasarkan SNI 1729:2015, yang membatasi besarnya lendutan yang timbul pada balok. Dalam pasal tersebut diisyaratkan lendutan untuk balok pemikul dinding atau *finishing* yang getas adalah sebesar  $L/360$ , sedangkan untuk balok biasa lendutan tidak boleh melebihi dari  $L/240$ .

• Lendutan yang diijinkan pada profil gording

$$\Delta_{ijin} = \frac{L}{240} = \frac{5000}{240} = 20,83 \text{ mm}$$

• Lendutan yang terjadi pada sumbu X

- Akibat beban mati merata

$$\Delta_x = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_{dx} \cdot \left(\frac{L}{n+1}\right)^4}{E \cdot I_y}$$

$$\Delta x = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,0393 \cdot \left(\frac{5000}{2+1}\right)^4}{200000(331000)}$$

$$\Delta x = 0,0596 \text{ mm}$$

- Akibat beban hidup merata

$$\Delta x = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_{lx} \cdot \left(\frac{L}{n+1}\right)^4}{E \cdot I_y}$$

$$\Delta x = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,0725 \cdot \left(\frac{5000}{2+1}\right)^4}{200000(331000)}$$

$$\Delta x = 0,11 \text{ mm}$$

- Akibat beban angin

$$\Delta x = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_{wx} \cdot \left(\frac{L}{n+1}\right)^4}{E \cdot I_y}$$

$$\Delta x = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,01 \cdot \left(\frac{5000}{2+1}\right)^4}{200000(331000)}$$

$$\Delta x = 0,0151 \text{ mm}$$

- Akibat beban hidup terpusat

$$\Delta x = \frac{1}{48} \cdot \frac{P_x \cdot \left(\frac{L}{n+1}\right)^3}{E \cdot I_y}$$

$$\Delta x = \frac{1}{48} \cdot \frac{0,2485 \cdot \left(\frac{5000}{2+1}\right)^3}{200000(331000)}$$

$$\Delta x = 0,000362 \text{ mm}$$

- Lendutan yang terjadi pada sumbu Y

- Akibat beban mati merata

$$\Delta y = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_{dy} \cdot (L)^4}{E \cdot I_x}$$

$$\Delta y = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,1466 \cdot (5000)^4}{200000 (2170000)}$$

- $\Delta y = 2,748 \text{ mm}$
- Akibat beban hidup merata
 
$$\Delta y = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_{ly} \cdot (L)^4}{E \cdot I_x}$$

$$\Delta y = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,2705 \cdot (5000)^4}{200000(2170000)}$$

$$\Delta y = 5,0721 \text{ mm}$$
  - Akibat beban angin
 
$$\Delta y = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_{wy} \cdot (L)^4}{E \cdot I_x}$$

$$\Delta y = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,03719 \cdot (5000)^4}{200000(2170000)}$$

$$\Delta y = 0,697 \text{ mm}$$
  - Akibat beban hidup terpusat
 
$$\Delta y = \frac{1}{48} \cdot \frac{P_y \cdot (L)^3}{E \cdot I_x}$$

$$\Delta y = \frac{1}{48} \cdot \frac{0,9273 \cdot (5000)^3}{200000(2170000)}$$

$$\Delta y = 0,00556 \text{ mm}$$

**Tabel 4.2.** Rekapitulasi Lendutan yang Terjadi pada Gording

No	Beban	Sumbu X (mm)	Sumbu Y (mm)	Resultan (mm)	Cek
1	Beban mati	0,0596	2,748	2,749	OK
2	Beban hidup merata	0,110	5,0721	5,073	OK
3	Beban hidup terpusat	0,000362	0,697	0,697	OK
4	Beban angin	0,0151	0,00556	0,0261	OK



Nilai dari resultan (R) masing-masing beban <  $\Delta$ ijin = 20,83 mm maka control lendutan yang terjadi pada gording **memenuhi**.

❖ Kontrol tegangan ijin :

$$\begin{aligned}\sigma_{ijin} &= 1,3 \times f_y / 1,5 \\ &= 1,3 \times 250 \text{ N/mm}^2 / 1,5 \\ &= 216,67 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

$$Z_x = [b_f \cdot t_f \cdot (d - t_f)] + \left[\frac{1}{4} \cdot t_w \cdot (d - 2t_f)^2\right]$$

$$Z_x = [50 \cdot 4 \cdot (125 - 4)] + \left[\frac{1}{4} \cdot 4 \cdot (125 - 2(4))^2\right]$$

$$Z_x = 92645 \text{ mm}^3$$

$$X_1 = \frac{[(t_f \cdot b_f) - (t_f \cdot t_w)] + \left[\frac{1}{2} \cdot t_w \cdot (d - 2t_f)^2\right]}{d}$$

$$X_1 = \frac{[(4 \cdot 50) - (4 \cdot 4)] + \left[\frac{1}{2} \cdot 4 \cdot (125 - 2(4))^2\right]}{125}$$

$$X_1 = 10,96 \text{ mm}$$

$$Z_y = \left[\frac{1}{2} \cdot d \cdot X_1^2\right] + [t_f \cdot (b_f - X_1)^2] + \left[\frac{1}{2} \cdot (d - 2t_f) \cdot (t_w - X_1)^2\right]$$

$$Z_y = \left[\frac{1}{2} \cdot 125 \cdot 10,96^2\right] + [4 \cdot (50 - 10,96)^2] + \left[\frac{1}{2} \cdot (125 - 2(4)) \cdot (4 - 10,96)^2\right]$$

$$Z_y = 18384,8 \text{ mm}^3$$

Sehingga, control tegangan saat momen maksimum

$$M_{u_x}/Z_y + M_{u_y}/Z_x \leq \sigma_{ijin}$$

(saat kombinasi beban 1,2D+1,6La+0,8W)

$$\frac{1955,2}{18384,8} + \frac{28600}{92645} \leq 216,67 \text{ N/mm}^2$$

$$0,415 \text{ N/mm}^2 \leq 216,67 \text{ N/mm}^2$$

**(memenuhi)**

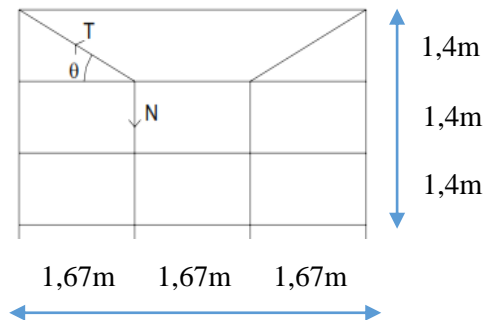
### **Kesimpulan :**

Sehingga profil gording LLC 125.50.20.4 dapat digunakan dalam perencanaan struktur atap.

#### 4.1.6.2. Perencanaan Penggantung Gording

❖ Data perencanaan :

Berat gording (W)	= 7,5 kg/m
Jarak antargording(b1)	= 1,4 meter
Jarak penggantung (L1)	= 1,67 meter
Jumlah gording	= 3 buah
Jumlah penggantung	= 2 buah



**Gambar 4.13.** Gambar Gording Tampak Atas

❖ Perhitungan penggantung gording :

- Beban mati

$$\begin{aligned}
 \text{Berat gording} &= W_{\text{gording}} \times (L/3) \\
 &= 7,5 \times (5/3) \\
 &= 12,5 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat penutup} &= W_{\text{seng}} \times (L/3) \times \text{jarak gording} \\
 \text{atap} &= 4,5 \times (5/3) \times 1,4 \\
 &= 10,5 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat lain} &= 10\% \times (\text{Berat gording} + \text{atap}) \\
 &= 10\% \times (12,5 + 10,5) \\
 &= 2,3 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat total} &= 12,5 + 10,5 + 2,3 \\
 &= 25,3 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

- Beban hidup

$$\text{Beban hidup} = 96 \text{ kg}$$

terpusat

$$\text{Beban hidup} = 19,79 \text{ kg/m}^2 \times (5\text{m}/3)$$

$$\text{merata} = 32,983 \text{ kg/m}$$

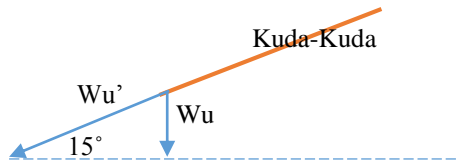
Sehingga beban hidup yang diambil adalah beban hidup terpusat = 96 kg.

- Beban angin =  $2,75 \text{ kg/m}^2 \times 1,4 \text{ m}$   
= 3,85 kg/m
- Kombinasi beban  

$$W_u = 1,2W_d + 1,6W_l$$

$$= 1,2(25,3 \text{ kg}) + 1,6(96 \text{ kg})$$

$$= 183,96 \text{ kg.}$$
- Perhitungan diameter penggantung gording



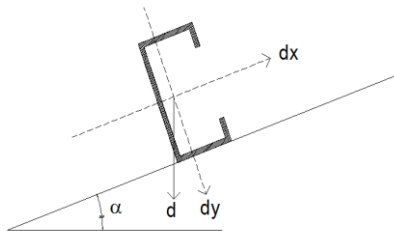
**Gambar 4.14.** Uraian Gaya untuk Mencari  $W_u$

$$W_u' = W_u / \sin 15^\circ$$

$$= 183,96 / \sin 15^\circ$$

$$= 710,767 \text{ kg}$$

Sehingga beban  $P_u$  untuk penggantung gording :



**Gambar 4.15.** Uraian Gaya pada Gording  
 Dikarenakan gaya  $W_u$  serah dengan sumbu penggantung gording yaitu sumbu  $d_x$ , maka :

$$\begin{aligned} P_u &= W_u' \\ &= 710,767 \text{ kg} \end{aligned}$$

• Kontrol penggantung gording

- Tinjauan terhadap leleh :

$$\begin{aligned} P_u &= \phi \cdot A_g \cdot f_y \\ A_g &= P_u / (\phi \cdot f_y) \\ &= 7107,67 / (0,9 \times 250) \\ &= 31,58 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Tinjauan terhadap putus

$$\begin{aligned} P_u &= 0,75 \cdot \phi \cdot A_g \cdot f_u \\ A_g &= P_u / (0,75 \cdot \phi \cdot f_u) \\ &= 7101,58 / ((0,75) \cdot (0,9) \cdot (410)) \\ &= 25,66 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Ag menentukan :

Ag leleh > Ag putus, maka Ag menentukan adalah Ag putus.

Direncanakan menggunakan Ø10,

$$\begin{aligned} A &= \frac{1}{4} \times \pi \times \phi^2 \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2 \\ &= 78,53 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{array}{ll} \text{Ag perlu} & < \text{Ag rencana} \\ 25,66 \text{ mm}^2 & < 78,53 \text{ mm}^2 \quad \text{(OK)} \end{array}$$

Dari perhitungan di atas, luas yang direncanakan lebih besar dari Ag perlu sehingga nilai diameter penggantung 10 mm memenuhi.

- Kontrol tegangan

$$\begin{array}{ll} \sigma_{\text{terjadi}} & \leq \sigma_{\text{ijin}} (1,3 \times f_y / 1,5) \\ N/A & \leq 266,67 \text{ N/mm}^2 \\ 7101,58 / 78,53 & \leq 266,67 \text{ N/mm}^2 \\ 94,023 \text{ N/mm}^2 & \leq 266,67 \text{ N/mm}^2 \\ & \text{(OK)} \end{array}$$

**Kesimpulan :**

**Penggantung gording menggunakan Ø10 sebanyak 2 buah.**

#### 4.1.6.3. Perencanaan Ikatan Angin Atap

❖ Data perencanaan :

Jarak antargording (b) = 1,4 meter

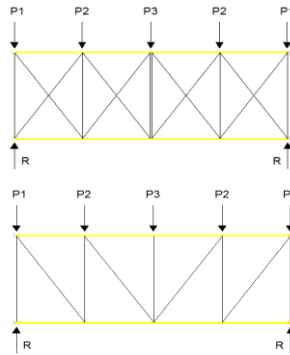
Jarak antarkolom = 5,0 meter

Jarak antarkuda-kuda = 5,0 meter

Sudut kemiringan ( $\alpha$ ) =  $15^\circ$

Tekanan angin =  $2,75 \text{ kg/m}^2$

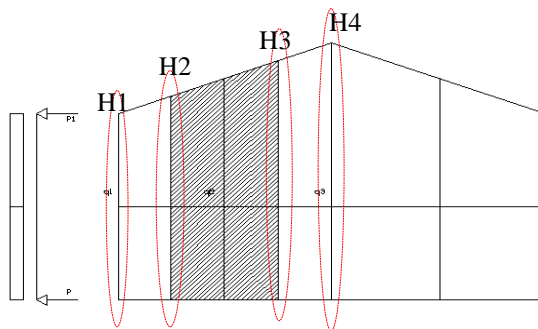
Tinggi kolom ( $h_1$ ) = 1,00 meter



**Gambar 4.16.** Pemodelan Ikatan Angin Atap

❖ Perhitungan dan Perencanaan :

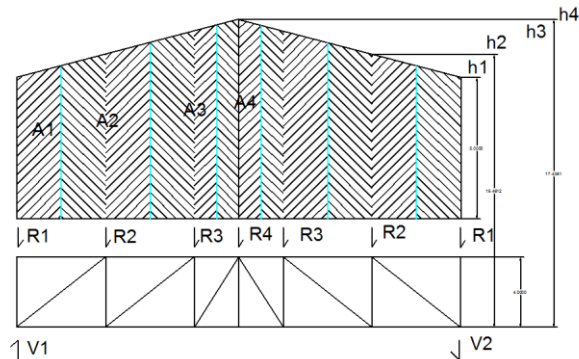
- Perhitungan Ketinggian



**Gambar 4.17.** Ketinggian yang Dicari

- $H_k = H_1 = 1,00$  meter
- $H_2 = H_1 + (\tan \alpha \times b)$   
 $= 1,00 + (\tan 15^\circ \times 1,4)$   
 $= 1,375$  meter
- $H_3 = H_2 + (\tan \alpha \times b)$   
 $= 1,375 + (\tan 15^\circ \times 1,4)$   
 $= 1,750$  meter
- $H_4 = H_3 + (\tan \alpha \times b)$   
 $= 1,750 + (\tan 15^\circ \times 1,4)$   
 $= 2,125$  meter

## ❖ Perhitungan Gaya-Gaya

Tekanan angin =  $2,75 \text{ kg/m}^2$ Koefisien (C) =  $0,80$ **Gambar 4.18.** Gaya yang Bekerja pada Ikatan Angin

Jarak datar kolom :

- $X_1 = \text{jarak antarkolom} + \tan \alpha$   
 $= 5,0 \text{ meter} + \tan 15^\circ$   
 $= 1,340 \text{ meter}$
- $X_2 = 2 \times X_1$   
 $= 2 \times 1,340 \text{ meter}$   
 $= 2,680 \text{ meter}$

- $$X_3 = X_1 + \frac{1}{2} \times \text{jarak antarkolom} \times \tan \alpha$$
- $$= 1,34 \text{ meter} + \frac{1}{2} \times 5 \text{ meter} \times \tan 15^\circ$$
- $$= 3,349 \text{ meter}$$
- $q_1 = \text{Koefisien} \times \text{Tekanan Angin} \times b_1$ 

$$= 0,8 \times 2,75 \text{ kg/m}^2 \times 2,75 \text{ meter}$$

$$= 6,050 \text{ kg/m}$$
  - $q_2 = \text{Koefisien} \times \text{Tekanan Angin} \times b_2$ 

$$= 0,8 \times 2,75 \text{ kg/m}^2 \times 5,50 \text{ meter}$$

$$= 12,100 \text{ kg/m}$$
  - $q_3 = \text{Koefisien} \times \text{Tekanan Angin} \times b_3$ 

$$= 0,8 \times 2,75 \text{ kg/m}^2 \times 4,13 \text{ meter}$$

$$= 9,075 \text{ kg/m}$$
  - $q_4 = \text{Koefisien} \times \text{Tekanan Angin} \times b_4$ 

$$= 0,8 \times 2,75 \text{ kg/m}^2 \times 2,75 \text{ meter}$$

$$= 6,050 \text{ kg/m}$$
  - Menghitung Gaya yang Diterima Oleh Ikatan Angin
    - $R_1 = \frac{1}{2} \times q_1 \times h_1$ 

$$= \frac{1}{2} \times 6,050 \text{ kg/m} \times 1,00 \text{ meter}$$

$$= 3,025 \text{ kg}$$
    - $R_2 = \frac{1}{2} \times q_2 \times (h_1 + x_1)$ 

$$= \frac{1}{2} \times 12,100 \text{ kg/m} \times (1 + 1,34) \text{ meter}$$

$$= 14,155 \text{ kg}$$
    - $R_3 = \frac{1}{2} \times q_3 \times (h_1 + x_2)$ 

$$= \frac{1}{2} \times 9,075 \text{ kg/m} \times (1 + 2,68) \text{ meter}$$

$$= 16,696 \text{ kg}$$
    - $R_4 = \frac{1}{2} \times q_4 \times (h_1 + x_3)$ 

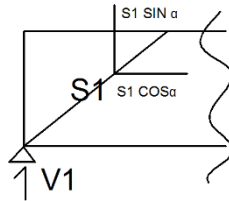
$$= \frac{1}{2} \times 6,050 \text{ kg/m} \times (1 + 3,349) \text{ meter}$$

$$= 13,157 \text{ kg}$$
  - Perhitungan Gaya Beban  
Perhitungan Gaya Batang
 
$$V_1 = V_2$$

$$= (R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_1 + R_2 + R_3) / 2$$

$$= 40,455 \text{ kg}$$

- Batang 1



**Gambar 4.19.** Gaya pada Batang 1

$$\begin{aligned}\beta &= \text{jarak antarkolom/jarak antar kuda-kuda} \\ &= \arctan (5/5) \\ &= 45^\circ\end{aligned}$$

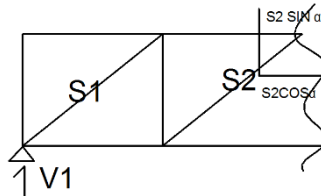
$$\Sigma V = 0$$

$$0 = V_1 - R_1 - S_1 \cdot \cos \beta$$

$$0 = 40,455 \text{ kg} - 3,025 - S_1 \cdot \cos 45^\circ$$

$$S_1 = 52,933 \text{ kg (Tarik)}$$

- Batang 2



**Gambar 4.20.** Gaya pada Batang 2

$$\begin{aligned}\beta &= \text{jarak antarkolom/jarak antar kuda-kuda} \\ &= \arctan (5/5) \\ &= 45^\circ\end{aligned}$$

$$\Sigma V = 0$$

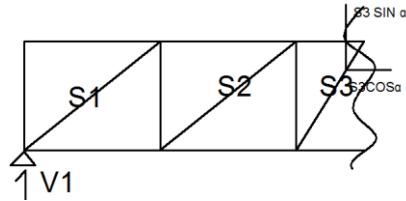
$$0 = V_1 - R_1 - R_2 - S_2 \cdot \cos \beta$$

$$0 = 40,455 \text{ kg} - 3,025 - 14,155 - S_2 \cdot \cos 45^\circ$$

$$S_2 = 32,915 \text{ kg (Tarik)}$$

- Batang 3





**Gambar 4.21.** Gaya pada Batang 3

$\beta = \frac{1}{2} \times \text{jarak antarkolom} / \text{jarak antar kuda-kuda}$

$$= \arctan ((1/2.5)/5)$$

$$= 26,565^\circ$$

$$\Sigma V = 0$$

$$0 = V_1 - R_1 - R_2 - R_3 - S_3 \cdot \cos \alpha$$

$$0 = 40,455 \text{ kg} - 3,025 - 14,155 - 16,696 - S_3 \cdot \cos 26,565^\circ$$

$$S_3 = 14,780 \text{ kg (Tarik)}$$

Maka gaya paling besar terjadi pada batang 1 yaitu sebesar 52,933 kg, maka perhitungan kebutuhan luasan ikatan angina kuda-kuda ditinjau berdasarkan besar gaya pada batang 1.

- Perencanaan Batang

$$P_u = 52,933 \text{ kg}$$

- Untuk keadaan leleh

$$P_u = \phi \cdot f_y \cdot A_g$$

$$A_g = P_u / (\phi \cdot f_y)$$

$$= 529,33 / (0,9 \cdot (250))$$

$$= 2,352 \text{ mm}^2$$

- Untuk keadaan putus

$$P_u = 0,75 \cdot \phi \cdot f_u \cdot A_g$$

$$A_g = P_u / (0,75 \cdot \phi \cdot f_u)$$

$$= 529,33 / ((0,75) \cdot (0,9) \cdot (410))$$

$$= 1,912 \text{ mm}^2$$

$$A_g \text{ menentukan} = 2,352 \text{ mm}^2$$

$$A_g \text{ pakai} = \frac{1}{4} \times \pi \times \phi^2$$

$$= \frac{1}{4} \times \pi \times 10^2$$

$$= 78,54 \text{ mm}^2$$

- Kontrol Tegangan  
Digunakan diameter = 10 mm

$$\sigma_{\text{terjadi}} \leq \sigma_{\text{ijin}}$$

$$P_u/A \leq 266,67 \text{ N/mm}^2$$

$$529,33/78,54 \leq 266,67 \text{ N/mm}^2$$

$$6,74 \text{ N/mm}^2 \leq 266,67 \text{ N/mm}^2$$

(OK)

### **Kesimpulan :**

**Maka ikatan angin yang digunakan adalah dengan diameter 10 mm.**

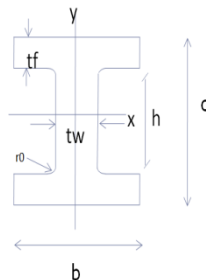
#### **4.1.6.4. Perhitungan Kuda-Kuda**

❖ Data perencanaan :

Jarak antarkuda-kuda = 5 meter  
 Panjang total kuda-kuda = 12 x (3,468 meter)  
 = 41,616 meter  
 Bentang kuda-kuda = 6,7 meter  
 Berat penutup atap = 11 kg/m<sup>2</sup>  
 Berat gording = 7,5 kg/m  
 Jarak antargording = 1,4 meter

Direncanakan profil kuda-kuda WF 250.175.7.11 :

- W = 44,1 kg/m
- $I_x = 6120 \text{ cm}^4$
- $I_y = 984 \text{ cm}^4$
- $Z_x = 502 \text{ cm}^3$
- $Z_y = 113 \text{ cm}^3$
- $i_x = 10,4 \text{ cm}$
- $i_y = 4,18 \text{ cm}$
- $A_g = 5624 \text{ mm}^2$
- r = 16 mm
- A = 244 mm
- B = 175 mm
- $t_w = 7 \text{ mm}$



$$- t_f = 11 \text{ mm}$$

$$\phi \text{ leleh} = 0,90$$

$$\phi \text{ geser} = 0,85$$

❖ Perhitungan Kuda-Kuda

Momen ultimate yang terjadi di kuda-kuda adalah akibat beban kombinasi 1,2D+1,6L = 504,25 kg.m

**Tabel 4.3.** Rekapitulasi Momen yang Terjadi pada Kuda-Kuda Akibat Kombinasi beban 1,2D+1,6L+0,5Lr

	OUTPUT SAP (4761)	UKURAN	SATUAN	KET
Kombinasi beban 1.2D+1.6L+0.5Lr				
	Mnty1 =	9.25E-04	kgm	
	Mnty2 =	504.25	kgm	
	Nu =	6864.2	kg	
	momen 1/4 bentang (Ma)	22.33	kgm	2.228125
	momen 1/2 bentang (Mb)	459.56	kgm	4.45625
	momen 3/4 bentang (Mc)	61.46	kgm	6.684375

- Menghitung momen nominal ( $M_n$ ) pengaruh *local buckling*

- Syarat kelangsingan profil

*Flens/ Sayap*

$$\begin{aligned} \lambda &< \lambda_p \\ b_f/(2.t_f) &< 170/\sqrt{f_y} \\ 175/(2(11)) &< 170/\sqrt{250} \\ 7,955 &< 10,751 \end{aligned}$$

**(Kompak)**

*Web/ Badan*

$$\begin{aligned} \lambda &< \lambda_p \\ h/(t_w) &< 1680/\sqrt{f_y} \end{aligned}$$

$$\begin{array}{rcl} 222/(8) & < & 1680/\sqrt{250} \\ 34,857 & < & 106,252 \end{array}$$

**(Kompak)**

Dari hasil perhitungan syarat kelangsingan, maka profil penampang **kompak**.

- Periksa Momen Nominal Penampang  
Karena profil penampang kompak, maka tahanan momen nominal ( $M_n$ ) = tahanan momen nominal plastis ( $M_p$ )

$$\begin{aligned} M_u &= 504,25 \text{ kg.m} \\ &= 5042500 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n &= Z_x \times f_y \\ &= 502000 \text{ mm}^2 \times 250 \text{ N/mm}^2 \\ &= 125500000 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi \cdot M_n &= 0,9 \times M_n \\ &= 0,9 \times 125500000 \text{ N.mm} \\ &= 112950000 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Cek persyaratan momen nominal,

$$\begin{array}{rcl} \phi \cdot M_n & > & M_u \\ 112950000 \text{ N.mm} & > & 5042500 \text{ N.mm} \end{array}$$

**(OK)**

- Menghitung momen nominal ( $M_n$ ) pengaruh tekuk torsi lateral

- Cek komponen struktur

$$\text{b. } L \leq L_p \quad = \text{bentang pendek}$$

$$\text{c. } L_p \leq L \leq L_r \quad = \text{bentang menengah}$$

$$\text{d. } L_r \leq L \quad = \text{bentang panjang}$$







$$\begin{aligned} r_y &= \sqrt{I_y / (A_g)} \\ &= \sqrt{(9840000) / (5624)} \\ &= 41,829 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L_p &= 790 \cdot r_y / \sqrt{f_y} \\ &= 790 \cdot (41,829) / \sqrt{(250)} \\ &= 2089,931 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_w &= (I_{flens} \cdot h^2) / 4 \\ &= 1/12 \times B \times t_f^3 \times A^2 / 4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= ((1/12)(175)(11)^3(244)^2)/4 \\
&= 4775283,333 \text{ mm}^4 \\
J &= 1/3 \times (b.t_f^3 + h.t_w^3) \\
&= 1/3 \times ((175).(11^3) + (244).(7^3)) \\
&= 1,0553 \times 10^5 \text{ mm}^4 \\
G &= 80000 \text{ MPa (**ditentukan**)} \\
X_1 &= \frac{\pi}{Z_x} \cdot \sqrt{\frac{1}{2} \cdot E \cdot G \cdot J \cdot A_g} \\
&= \frac{\pi}{502000} \cdot \sqrt{\frac{1}{2} \cdot (2 \cdot 10^5) \cdot (8 \cdot 10^4) \cdot (1,05 \cdot 10^5) \cdot (5624)} \\
&= 13637,04559 \text{ Mpa} \\
X_2 &= 4 \cdot \left(\frac{Z_x}{G \cdot J}\right)^2 \left(\frac{C_w}{I_y}\right) \\
&= 4 \cdot \left(\frac{502000}{(8 \cdot 10^4)(1,05 \cdot 10^5)}\right)^2 \left(\frac{4775283,333}{9840000}\right) \\
&= 6,86 \times 10^{-9} \text{ mm}^4/\text{N}^2 \\
L_r &= r_y \cdot \left(\frac{x_1}{f_y - f_r}\right) \sqrt{1 + \sqrt{1 + X_2 \cdot (f_y - f_r)^2}} \\
&= 41,83 \cdot \left(\frac{13637,05}{250 - 70}\right) \sqrt{1 + \sqrt{1 + 6,86 \cdot 10^{-6} \cdot (250 - 70)^2}} \\
&= 633,8007 \text{ mm} \\
L &= 3468,175 \text{ mm} \\
\text{Cek komponen struktur,} \\
L &= 3468,175 \text{ mm} \\
L_r &= 633,8007 \text{ mm} \\
L_p &= 2089,931 \text{ mm} \\
L_r \leq L, 633,8007 \text{ mm} \leq 3468,175 \text{ mm (**Bentang Pendek**)}
\end{aligned}$$

- Desain LRFD untuk Balok

	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
Garis terputus menunjukkan diagram kolom tertekuk						
Nilai $k$ , teoritis	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
Nilai $k$ yang dianjurkan untuk kolom yang mendekati kondisi ideal	0.65	0.80	1.2	1.0	2.10	2.0

**Gambar 4.22.** Faktor Tekuk  $k$

Kondisi perletakan dimisalkan jepit-sendi, sehingga nilai  $k=0,80$

$$\begin{aligned}
 \lambda_x &= L \cdot k / i_x \\
 &= (3468,175) \cdot (0,8) / 104 \\
 &= 66,376 \\
 \lambda_{cx} &= (\lambda_x / \pi) \cdot (\sqrt{f_y / E}) \\
 &= (66,376 / \pi) / (\sqrt{250 / 200000}) \\
 &= 0,3952 \\
 w &= 1,43 / (1,6 - 0,67 \cdot \lambda_{cx}) \\
 &= 1,43 / (1,6 - (0,67)(0,3952)) \\
 &= 1,071 \\
 N_n &= A_g \cdot f_y / w \\
 &= (5624) \cdot (250) / (1,071) \\
 &= 1045,724 \text{ N} \\
 N_u / (\phi_{leleh} \cdot N_n) &= 68642 / ((0,9) \cdot (1045,724)) \\
 &= 7,29 > 0,2
 \end{aligned}$$

Maka digunakan rumus interaksi ke-2.

- Perbesaran Momen

$$\begin{aligned}
 C_m &= 0,6 - 0,4 \frac{M_1}{M_2} \\
 &= 0,6 - 0,4 \frac{9,2 \times 10^{-4}}{504,25} \\
 &= 0,60 \\
 N_{crb} &= (\pi^2 \cdot E \cdot A_g) / \lambda_x^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= (\pi^2 \cdot 2000000 \cdot 5624) / (66,376)^2 \\
 &= 252017,1603 \text{ N} \\
 \delta_b &= C_m / (1 - (N_u / N_{crb})) \\
 &= 0,60 / (1 - (68642 / 252017,1603)) \\
 &= 0,824 \\
 \text{Mu}_y &= \delta_b \times M_{nt} \\
 &= 0,824 \times 504,25 \text{ kg.m} \\
 &= 415,502 \text{ kg.m} \\
 &= 4,15502 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

Cek dengan rumus interaksi,

$$\begin{aligned}
 \frac{N_u}{\phi \cdot N_n} + \frac{8}{9} \cdot \frac{M_{uy}}{\phi \cdot M_{ny}} &\leq 1,00 \\
 \frac{68642}{(0,9)(1045,724)} + \frac{8}{9} \cdot \frac{50,425}{(0,9)(4,15)} &\leq 1,00 \\
 0,8474 &\leq 1,00 \text{ (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

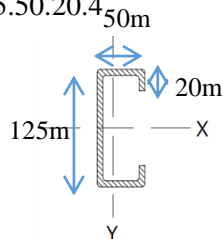
### **Kesimpulan :**

**Sehingga profil WF 250.175.7.11 mencukupi untuk memikul beban-beban yang ada sesuai dengan desain LRFD.**

#### **4.1.6.5. Perhitungan Regel**

❖ Data-data perencanaan gording :

- Sudut kemiringan ( $\alpha$ ) =  $15^\circ$
- $F_y$  =  $2500 \text{ Kg/cm}^2$
- Berat genteng metal =  $4,7 \text{ kg/m}^2$
- Jarak antar kolom =  $500 \text{ cm}$
- Jarak regel (b) =  $150 \text{ cm}$
- Jumlah penggantung = 2 buah
- Direncanakan profil LLC 125.50.20.4
  - $W = 7,5 \text{ kg/cm}^2$
  - $I_x = 217 \text{ cm}^4$
  - $I_y = 33,1 \text{ cm}^4$
  - $Z_x = 34,7 \text{ cm}^3$
  - $Z_y = 9,38 \text{ cm}^3$



- $A_g = 9,469 \text{ cm}^2$
- ❖ Perhitungan beban pada regel :
  - Beban mati
    - Berat penutup atap  $= 1,4 \text{ m} \times 4,5 \text{ kg/m}^2$   
 $= 6,3 \text{ kg/m}$
    - Berat regel  $= \underline{7,50 \text{ kg/m} +}$   
 $\quad \quad \quad qD = 13,8 \text{ kg/m}$
    - Berat lainnya ( $10 \% \times qD$ )  
 $= 10\% \times 13,8 \text{ kg/m}$   
 $= \underline{1,38 \text{ kg/m} +}$
    - $qD \text{ Total} = 15,18 \text{ kg/m}$
  - Arah X :  
 $qX = qD \text{ Total} \times \sin \alpha = 15,18 \text{ kg/m} \times \sin 15^\circ$   
 $= 3,93 \text{ kg/m}$
  - Arah Y :  
 $qY = qD \text{ Total} \times \cos \alpha = 15,18 \text{ kg/m} \times \cos 15^\circ$   
 $= 14,66 \text{ kg/m}$
  - Beban hidup
    - Beban air hujan (merata)  
 $R = 0,0098 \times (d_h + d_s)$   

**(SNI 1727:2013 Pasal 8.3)**

Dimana,  $d_h = a \cdot V^2 / (2g)$   
 Misalkan diambil,  
 $a = 1,25$   
 $V = 3,05$   
 $g = 9,81 \text{ m/s}^2$   
 $d_s = 20 \text{ mm}$   
 $d_h = 1,25 \cdot (3,05)^2 / (2 \cdot 9,81)$   
 $= 0,194$   
 $R = 0,0098 \times (0,194 + 20)$   
 $= 19,790 \text{ kg/m}^2$   
 Beban yang dipakai ( $qL$ )  $= 19,79 \text{ kg/m}^2$
    - Arah X :  
 $qX = qL \times b \times \sin \alpha$



$$= 19,79 \text{ Kg/m}^2 \times 1,4 \text{ m} \times \sin 15^\circ$$

$$= 7,25 \text{ kg/m}$$

Arah Y :

$$qY = qL \times b \times \cos \alpha$$

$$= 19,79 \text{ kg/m}^2 \times 1,4 \text{ m} \times \cos 15^\circ$$

$$= 27,05 \text{ kg/m}$$

- Beban pekerja (terpusat)  
Beban pekerja = 96 kg

(SNI 1727:2013)

Arah X :

$$pX = qL \times \sin \alpha$$

$$= 96 \text{ kg} \times \sin 15^\circ$$

$$= 24,85 \text{ kg}$$

Arah Y :

$$pY = qL \times \cos \alpha$$

$$= 96 \text{ Kg/m} \times \cos 15^\circ$$

$$= 92,73 \text{ kg}$$

- Beban angin (merata)  
Berdasarkan SNI 1727:2013 perhitungan beban angin adalah sebagai berikut :
  1. Kategori resiko bangunan = 4  
 $I_w = 1$  (**Tabel SNI 1727:2013 1.5-1**)
  2. Kecepatan angin dasar (V) = 9,7 m/s
  3. Faktor-faktor yang memengaruhi perhitungan
    - Faktor arah angin ( $K_d$ ) = 0,85
    - Kategori exposure = B
    - Faktor topografi ( $K_{zt}$ ) = 1,00
    - Faktor efek tiupan angin (G) = 0,85
    - Klasifikasi ketertutupan = tertutup
    - Koefisien tekanan internal ( $G_{cpi}$ ) =  $\pm 0,18$
  4. Koefisien exposure tekanan velostatis ( $K_z/K_h$ )
    - $z = 1$
    - $z_g = 365,76$
    - $\alpha = 7$
    - $K_h = 0,8214$

$$K_z = 2,01 \frac{z^{2\alpha}}{z_g}$$

$$K_z = 2,01 \frac{1}{365,76}^{2(7)}$$

$$K_z = 0,3723$$

## 5. Tekanan Velositas

$$q_z = 0,00256 \cdot K_z \cdot K_{zt} \cdot K_d \cdot V^2$$

**(SNI 1727:2013 Pasal 27.3.2)**

$$q_z = 0,00256 \cdot (0,3723)(1,0)(0,85) \cdot (9,7)^2$$

$$q_z = 18,33 \text{ N/m}^2$$

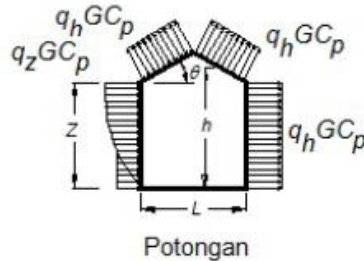
$$q_h = 0,00256 \cdot K_h \cdot K_{zt} \cdot K_d \cdot V^2$$

**(SNI 1727:2013 Pasal 27.3.2)**

$$q_h = 0,00256 \cdot (0,8214)(1,0)(0,85)(9,7)^2$$

$$q_h = 40,44 \text{ N/m}^2$$

## 6. Tekanan Angin



**Gambar 4.21.** Tekanan Angin yang Bekerja pada Bangunan

Cp (angin datang)	= 0,8
Cp (angin pergi)	= -0,33
Cp (dinding tepi)	= -0,7
Angin datang	= $q_h \cdot G \cdot C_p$
	= $(40,44 \text{ N/m}^2)(0,85)(0,8)$
	= $27,4992 \text{ N/m}^2$
	= $2,75 \text{ kg/m}^2$
Angin pergi	= $q_h \cdot G \cdot C_p$

$$\begin{aligned}
 &= (40,44 \text{ N/m}^2)(0,85)(0,3) \\
 &= 10,3122 \text{ N/m}^2 \\
 &= 1,03 \text{ kg/m}^2 \\
 \text{Angin tepi} &= q_z \cdot G \cdot C_p \\
 &= (18,33 \text{ N/m}^2)(0,85)(0,7) \\
 &= 10,90635 \text{ N/m}^2 \\
 &= 1,09 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

Diambil tekanan angin terbesar =  $2,75 \text{ kg/m}^2$

$$Q_w = 2,75 \text{ kg/m}^2 \times \text{jarak antargording}$$

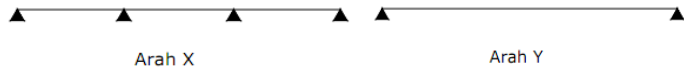
$$Q_w = 2,75 \text{ kg/m}^2 \times 1,4 \text{ m}$$

$$Q_w = 3,85 \text{ kg/m}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{wx} &= Q_w \times \sin \alpha \\
 &= 3,85 \text{ kg/m} \times \sin 15^\circ \\
 &= 1,0 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_{wy} &= Q_w \times \cos \alpha \\
 &= 3,85 \text{ kg/m} \times \cos 15^\circ \\
 &= 3,719 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

❖ Perhitungan momen pada gording :



**Gambar 4.22.** Pemodelan Perletakan pada regel

Sesuai dengan gambar mekanika di atas :

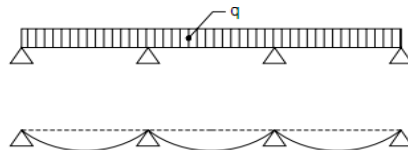
Untuk arah x terdapat perletakan di karenakan di antara kuda-kuda terdapat 2 buah penggantung regel.

Untuk arah y hanya terdapat 2 perletakan yaitu pada kuda-kuda.

- Akibat beban mati (beban merata)

$$\begin{aligned}
 - \quad M_d x &= \frac{1}{8} q dx \cdot \left(\frac{L}{3}\right)^2 \\
 &= \frac{1}{8} 3,93 \text{ kg/m} \cdot \left(\frac{5 \text{ m}}{3}\right)^2 \\
 &= 1,36 \text{ kg.m}
 \end{aligned}$$

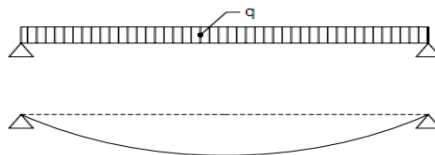
Nilai  $q$  merupakan beban mati total dari berat penutup atap + berat sendiri regel + 10 % berat lain-lain sesuai dengan perhitungan beban mati sebesar 3,93 kg/m.



**Gambar 4.23.** Bidang Momen yang Terjadi Akibat Beban Mati Arah X

$$\begin{aligned}
 - \quad M_{d \text{ xy}} &= \frac{1}{8} q dy \cdot (L)^2 \\
 &= \frac{1}{8} \cdot 14,66 \text{ kg/m} \cdot (5 \text{ m})^2 \\
 &= 45,82 \text{ kg.m}
 \end{aligned}$$

Nilai  $q$  merupakan beban mati total dari berat penutup atap + berat sendiri regel + 10 % berat lain-lain sesuai dengan perhitungan beban mati sebesar 24,33 kg/m.



**Gambar 4.24.** Bidang Momen yang Terjadi Akibat Beban Mati Arah Y

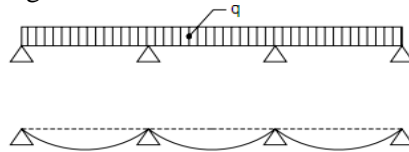
- Akibat beban hidup
  - Beban hujan ( Merata )

$$M_{l \text{ x}} = \frac{1}{8} q L h \cdot \left(\frac{L}{3}\right)^2$$

$$= \frac{1}{8} 7,25 \text{ kg/m} \cdot \left(\frac{5 \text{ m}}{3}\right)^2$$

$$= 2,52 \text{ kg.m}$$

Nilai q merupakan beban hujan arah x sesuai dengan perhitungan beban air hujan sebesar 7,25 kg/m.



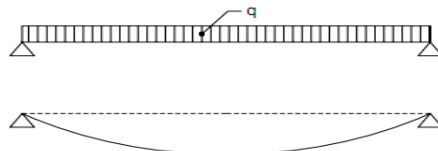
**Gambar 4.25.** Bidang Momen yang Terjadi Akibat Beban Hujan Arah X

$$Ml y = \frac{1}{8} qLh \cdot (L)^2$$

$$= \frac{1}{8} 27,05 \frac{\text{kg}}{\text{m}} \cdot (5\text{m})^2$$

$$= 84,52 \text{ kgm}$$

Nilai q merupakan beban hujan arah y sesuai dengan perhitungan beban air hujan sebesar 27,05 kg/m.



**Gambar 4.26.** Bidang Momen yang Terjadi Akibat Beban Hujan Arah Y

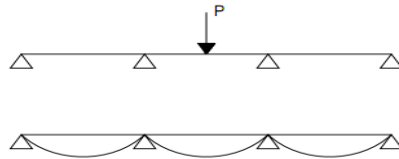
- Beban pekerja ( Terpusat )

$$Mp x = \frac{1}{4} Qpx \cdot \left(\frac{L}{3}\right)^2$$

$$= \frac{1}{4} 24,85 \text{ kg} \cdot \left(\frac{5 \text{ m}}{3}\right)^2$$

$$= 10,35 \text{ kg.m}$$

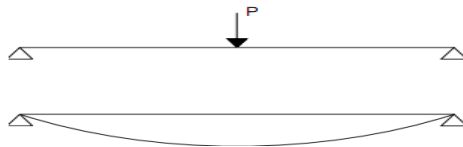
Nilai  $q$  merupakan beban pekerja arah  $x$  sesuai dengan perhitungan beban hidup (pekerja) sebesar 24,85 kg.



**Gambar 4.27.** Bidang Momen yang Terjadi Akibat Beban Hidup Terpusat Arah X

$$\begin{aligned}
 M_{py} &= \frac{1}{4} Q_{py} \cdot L^2 \\
 &= \frac{1}{4} 92,73 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \cdot (5 \text{ m})^2 \\
 &= 40,25 \text{ kgm}
 \end{aligned}$$

Nilai  $q$  merupakan beban pekerja arah  $x$  sesuai dengan perhitungan beban hidup (pekerja) sebesar 92,73 kg.



**Gambar 4.28.** Bidang Momen yang Terjadi Akibat Beban Hidup Terpusat Arah Y

- Akibat beban angin  
Beban angin bekerja tegak lurus dengan atap sehingga beban angin bekerja pada arah  $y$ .

$$\begin{aligned}
 M_{wx} &= \frac{1}{8} Q_{wx} \cdot \left(\frac{L}{3}\right)^2 \\
 &= \frac{1}{8} 1,0 \text{ kg/m} \cdot \left(\frac{5 \text{ m}}{3}\right)^2 \\
 &= 0,35 \text{ kg.m}
 \end{aligned}$$

Nilai q merupakan beban angin arah x sesuai dengan perhitungan beban angin sebesar 1,0 kg/m.

$$\begin{aligned} M_{w y} &= \frac{1}{8} Q_{wy} \cdot (L)^2 \\ &= \frac{1}{8} 3,719 \text{ kg/m} \cdot (5\text{m})^2 \\ &= 11,62 \text{ kg.m} \end{aligned}$$

Nilai q merupakan beban angin arah y sesuai dengan perhitungan beban angin sebesar 3,719 kg/m.

❖ Perhitungan momen ultimate pada regel :

- $M_u = 1,4D$   
 $M_{u x} = 1,4 \times (1,36 \text{ kg.m})$   
 $= 1,904 \text{ kg.m}$   
 $M_{u y} = 1,4 \times (45,82 \text{ kg.m})$   
 $= 64,148 \text{ kg.m}$
- $M_u = 1,2D + 1,6L + 0,8W$   
 $M_{u x} = 1,2(1,36) + 1,6(10,35) + 0,8(0,35)$   
 $= 18,472 \text{ kg.m}$   
 $M_{u y} = 1,2(45,82) + 1,6(115,91) + 0,8(11,62)$   
 $= 249,736 \text{ kg.m}$
- $M_u = 1,2D + 1,6H + 0,8W$   
 $M_{u x} = 1,2(1,36) + 1,6(2,52) + 0,8(0,35)$   
 $= 5,944 \text{ kg.m}$   
 $M_{u y} = 1,2(45,82) + 1,6(84,52) + 0,8(11,62)$   
 $= 199,512 \text{ kg.m}$
- $M_u = 0,9D + 1,3W$   
 $M_{u x} = 0,9(1,36) + 1,3(0,35)$   
 $= 1,679 \text{ kg.m}$   
 $M_{u y} = 0,9(45,82) + 1,3(11,62)$   
 $= 56,344 \text{ kg.m}$

**Tabel 4.4.** Rekapitulasi Momen Ultimate Regel

No	Kombinasi Pembebanan	Sumbu X (kg.m)	Sumbu Y (kg.m)
1	1,4D	1,904	64,148
2	1,2D+1,6La+0,8W	18,472	249,736
3	1,2D+1,6H+0,8W	5,944	199,512
4	0,9D+1,3W	1,679	56,344

Mu menentukan (diambil nilai terbesar dari keseluruhan momen ultimate).

Mu x = 18,472 kg.m

Mu y = 249,736 kg.m

❖ Kontrol kelangsingan penampang :

Klasifikasi penampang untuk tekuk lokal (**SNI 1729:2015 B4**).

- Untuk kondisi tekan

Cek kelangsingan (**SNI 1729:2015 Tabel B4.1a**)

- Rasio terhadap lebar
 
$$= b/t$$

$$= 50/4$$

$$= 12,5$$

Batasan rasio terhadap lebar

$$\lambda_r = 0,56 \times \sqrt{E/f_y}$$

$$= 0,56 \times \sqrt{200000/250}$$

$$= 15,840$$

Syarat,  $b/t > \lambda_r$ , **memenuhi**.

- Rasio terhadap lebar
 
$$= b/t$$

$$= 50/4$$

$$= 12,5$$

Batasan rasio terhadap lebar

$$\lambda_r = 1,49 \times \sqrt{E/f_y}$$

$$= 1,49 \times \sqrt{200000/250}$$

$$= 42,123$$

Syarat,  $b/t > \lambda_r$ , **memenuhi**.

- Untuk kondisi lentur (**SNI 1729:2015 Tabel B4.1b**)



Cek kekompakan penampang dengan syarat,

- Kompak,  $b/t < \lambda_p$
- Tidak kompak,  $\lambda_p < b/t < \lambda_r$
- Rasio tebal terhadap lebar =  $b/t$   
 $= 50/4$   
 $= 12,5$

Batasan rasio tebal-lebar ( $\lambda_p$ ) Kompak  
 $= 0,38 \times \sqrt{E/f_y}$   
 $= 0,38 \times \sqrt{200000/250}$   
 $= 10,748$

Batasan rasio tebal-lebar ( $\lambda_r$ ) Non-kompak  
 $= 1,00 \times \sqrt{E/f_y}$   
 $= 1,00 \times \sqrt{200000/250}$   
 $= 28,284$

Syarat penampang kompak,  $b/t < \lambda_p$  (**memenuhi**)

- Rasio tebal terhadap lebar =  $h/t_w$   
 $= 125/4$   
 $= 29,25$

Batasan rasio tebal-lebar ( $\lambda_p$ ) Kompak  
 $= 3,76 \times \sqrt{E/f_y}$   
 $= 3,76 \times \sqrt{200000/250}$   
 $= 106,3489$

Batasan rasio tebal-lebar ( $\lambda_r$ ) Non-kompak  
 $= 5,7 \times \sqrt{E/f_y}$   
 $= 5,7 \times \sqrt{200000/250}$   
 $= 161,2203$

Syarat penampang kompak,  $h/t_w < \lambda_p$  (**memenuhi**)

❖ Kontrol profil gording :

- $M_n x = Z_x \times f_y$   
 $= 9,38 \text{ cm}^3 \times 2500 \text{ kg/cm}^2 : 100$   
 $= 827,5 \text{ kg.m}$
- $M_n y = Z_y \times f_y$   
 $= 34,7 \text{ cm}^3 \times 2500 \text{ kg/cm}^2 : 100$   
 $= 867,5 \text{ kg.m}$

Kontrol dengan rumus interaksi :

$$\begin{aligned} \left\{ \frac{M_{ux}}{0,9 \cdot M_{nx}} \right\} + \left\{ \frac{M_{uy}}{0,9 \cdot M_{ny}} \right\} &< 1,00 \\ \left\{ \frac{18,472}{0,9(827,5)} \right\} + \left\{ \frac{249,736}{0,9(867,5)} \right\} &< 1,00 \\ 0,3447 &< 1,00 \end{aligned}$$

**(memenuhi)**

❖ Kontrol lendutan yang terjadi :

Lendutan yang diijikan berdasarkan SNI 1729:2015, yang membatasi besarnya lendutan yang timbul pada balok. Dalam pasal tersebut diisyaratkan lendutan untuk balok pemikul dinding atau *finishing* yang getas adalah sebesar  $L/360$ , sedangkan untuk balok biasa lendutan tidak boleh melebihi dari  $L/240$ .

- Lendutan yang diijinkan pada profil gording

$$\Delta_{ijin} = \frac{L}{240} = \frac{5000}{240} = 20,83 \text{ mm}$$

- Lendutan yang terjadi pada sumbu X

- Akibat beban mati merata

$$\begin{aligned} \Delta_x &= \frac{5}{384} \cdot \frac{q_{dx} \cdot \left(\frac{L}{n+1}\right)^4}{E \cdot I_y} \\ \Delta_x &= \frac{5}{384} \cdot \frac{0,0393 \cdot \left(\frac{5000}{2+1}\right)^4}{200000(331000)} \\ \Delta_x &= 0,0596 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Akibat beban hidup merata

$$\begin{aligned} \Delta_x &= \frac{5}{384} \cdot \frac{q_{lx} \cdot \left(\frac{L}{n+1}\right)^4}{E \cdot I_y} \\ \Delta_x &= \frac{5}{384} \cdot \frac{0,0725 \cdot \left(\frac{5000}{2+1}\right)^4}{200000(331000)} \\ \Delta_x &= 0,11 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Akibat beban angin

$$\Delta x = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_{wx} \cdot \left(\frac{L}{n+1}\right)^4}{E \cdot I_y}$$

$$\Delta x = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,01 \cdot \left(\frac{5000}{2+1}\right)^4}{200000(331000)}$$

$$\Delta x = 0,0151 \text{ mm}$$

- Akibat beban hidup terpusat

$$\Delta x = \frac{1}{48} \cdot \frac{P_x \cdot \left(\frac{L}{n+1}\right)^3}{E \cdot I_y}$$

$$\Delta x = \frac{1}{48} \cdot \frac{0,2485 \cdot \left(\frac{5000}{2+1}\right)^3}{200000(331000)}$$

$$\Delta x = 0,000362 \text{ mm}$$

- Lendutan yang terjadi pada sumbu Y

- Akibat beban mati merata

$$\Delta y = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_{dy} \cdot (L)^4}{E \cdot I_x}$$

$$\Delta y = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,1466 \cdot (5000)^4}{200000 (2170000)}$$

$$\Delta y = 2,748 \text{ mm}$$

- Akibat beban hidup merata

$$\Delta y = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_{ly} \cdot (L)^4}{E \cdot I_x}$$

$$\Delta y = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,2705 \cdot (5000)^4}{200000(2170000)}$$

$$\Delta y = 5,0721 \text{ mm}$$

- Akibat beban angin

$$\Delta y = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_{wy} \cdot (L)^4}{E \cdot I_x}$$

$$\Delta y = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,03719 \cdot (5000)^4}{200000(2170000)}$$

$$\Delta y = 0,697 \text{ mm}$$

- Akibat beban hidup terpusat

$$\Delta y = \frac{1}{48} \cdot \frac{P_y \cdot (L)^3}{E \cdot I_x}$$

$$\Delta y = \frac{1}{48} \cdot \frac{0,9273 \cdot (5000)^3}{200000(2170000)}$$

$$\Delta y = 0,00556 \text{ mm}$$

**Tabel 4.5.** Rekapitulasi Lendutan yang Terjadi pada Regel

No	Beban	Sumbu X (mm)	Sumbu Y (mm)	Resultan (mm)	Cek
1	Beban mati	0,0596	2,748	2,749	OK
2	Beban hidup merata	0,110	5,0721	5,073	OK
3	Beban hidup terpusat	0,000362	0,697	0,697	OK
4	Beban angin	0,0151	0,00556	0,0261	OK

Nilai dari resultan (R) masing-masing beban <  $\Delta$ ijin = 20,83 mm maka control lendutan yang terjadi pada gording **memenuhi**.

❖ Kontrol tegangan ijin :

$$\begin{aligned}\sigma_{ijin} &= 1,3 \times f_y / 1,5 \\ &= 1,3 \times 250 \text{ N/mm}^2 / 1,5 \\ &= 216,67 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

$$Z_x = [b_f \cdot t_f \cdot (d - t_f)] + \left[ \frac{1}{4} \cdot t_w \cdot (d - 2t_f)^2 \right]$$

$$Z_x = [50 \cdot 4 \cdot (125 - 4)] + \left[ \frac{1}{4} \cdot 4 \cdot (125 - 2(4))^2 \right]$$

$$Z_x = 92645 \text{ mm}^3$$

$$X_1 = \frac{[(t_f \cdot b_f) - (t_f \cdot t_w)] + \left[ \frac{1}{2} \cdot t_w \cdot (d - 2t_f)^2 \right]}{d}$$

$$X_1 = \frac{[(4 \cdot 50) - (4 \cdot 4)] + \left[ \frac{1}{2} \cdot 4 \cdot (125 - 2(4))^2 \right]}{125}$$

$$X_1 = 10,96 \text{ mm}$$

$$Z_y = \left[ \frac{1}{2} \cdot d \cdot X_1^2 \right] + [t_f \cdot (b_f - X_1)^2] \\ + \left[ \frac{1}{2} \cdot (d - 2t_f) \cdot (t_w - X_1)^2 \right]$$

$$Z_y = \left[ \frac{1}{2} \cdot 125 \cdot 10,96^2 \right] + [4 \cdot (50 - 10,96)^2] \\ + \left[ \frac{1}{2} \cdot (125 - 2(4)) \cdot (4 - 10,96)^2 \right]$$

$$Z_y = 18384,8 \text{ mm}^3$$

Sehingga, control tegangan saat momen maksimum

$$M_{ux}/Z_y + M_{uy}/Z_x \leq \sigma_{ijin}$$

(saat kombinasi beban 1,2D+1,6La+0,8W)

$$\frac{1955,2}{18384,8} + \frac{28600}{92645} \leq 216,67 \text{ N/mm}^2$$

$$0,415 \text{ N/mm}^2 \leq 216,67 \text{ N/mm}^2$$

(memenuhi)

### **Kesimpulan :**

Sehingga profil regel LLC 125.50.20.4 dapat digunakan dalam perencanaan struktur atap.

#### **4.1.6.6. Perhitungan Kolom Baja**

❖ Data perencanaan :

Panjang kolom = 1,5 meter

$E_s$  = 200000 Mpa

$F_y$  = 2500 kg/m<sup>2</sup>

Direncanakan profil kolom WF 250.175.7.11 :

-  $W$  = 44,1 kg/m

-  $I_x$  = 6120 cm<sup>4</sup>

-  $I_y$  = 984 cm<sup>4</sup>

-  $Z_x$  = 502 cm<sup>3</sup>

-  $Z_y$  = 113 cm<sup>3</sup>

-  $i_x$  = 10,4 cm

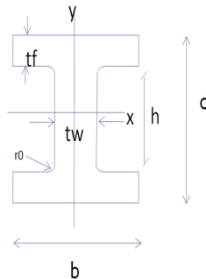
-  $i_y$  = 4,18 cm

-  $A_g$  = 5624 mm<sup>2</sup>

-  $r$  = 16 mm

-  $A$  = 244 mm

-  $B$  = 175 mm



- $t_w = 7 \text{ mm}$
- $t_f = 11 \text{ mm}$
- $\phi$  leleh  $= 0,90$
- $\phi$  geser  $= 0,85$

❖ Perhitungan Kolom

Momen ultimate yang terjadi di kuda-kuda adalah akibat beban kombinasi 1,2D+1,6L = 504,25 kg.m

**Tabel 4.6.** Rekapitulasi Momen yang Terjadi pada Kolom Akibat Kombinasi beban 1,2D+1,6L+0,5Lr

	OUTPUT SAP (4761)	UKURAN	SATUAN	KET
Kombinasi beban 1.2D+1.6L+0.5Lr				
	Mnty1 =	9.25E-04	kgm	
	Mnty2 =	504.25	kgm	
	Nu =	6864.2	kg	
	momen 1/4 bentang (Ma)	22.33	kgm	2.228125
	momen 1/2 bentang (Mb)	459.56	kgm	4.45625
	momen 3/4 bentang (Mc)	61.46	kgm	6.684375

- Menghitung momen nominal ( $M_n$ ) pengaruh *local buckling*

- Syarat kelangsingan profil

*Flens/ Sayap*

$$\begin{array}{rcl}
 \lambda & < & \lambda_p \\
 b_f/(2.t_f) & < & 170/\sqrt{f_y} \\
 175/(2(11)) & < & 170/\sqrt{250} \\
 7,955 & < & 10,751
 \end{array}$$

**(Kompak)**

Web/ Badan

$$\begin{array}{rcl}
 \lambda & < & \lambda_p \\
 h/(t_w) & < & 1680/\sqrt{f_y} \\
 222/(8) & < & 1680/\sqrt{250} \\
 34,857 & < & 106,252
 \end{array}$$

**(Kompak)**

Dari hasil perhitungan syarat kelangsingan, maka profil penampang **kompak**.

- Periksa Momen Nominal Penampang  
Karena profil penampang kompak, maka tahanan momen nominal ( $M_n$ ) = tahanan momen nominal plastis ( $M_p$ )

$$\begin{aligned}
 M_u &= 504,25 \text{ kg.m} \\
 &= 5042500 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= Z_x \times f_y \\
 &= 502000 \text{ mm}^2 \times 250 \text{ N/mm}^2 \\
 &= 125500000 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi \cdot M_n &= 0,9 \times M_n \\
 &= 0,9 \times 125500000 \text{ N.mm} \\
 &= 112950000 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

Cek persyaratan momen nominal,

$$\begin{array}{rcl}
 \phi \cdot M_n & > & M_u \\
 112950000 \text{ N.mm} & > & 5042500 \text{ N.mm}
 \end{array}$$

**(OK)**

- Menghitung momen nominal ( $M_n$ ) pengaruh tekuk torsi lateral

- Cek komponen struktur

e.  $L \leq L_p$  = bentang pendek

f.  $L_p \leq L \leq L_r$  = bentang menengah

g.  $L_r \leq L$  = bentang panjang

$$\begin{aligned}
 r_y &= \sqrt{(I_y)/(A_g)} \\
 &= \sqrt{(9840000)/(5624)} \\
 &= 41,829 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 L_p &= 790. r_y / \sqrt{f_y} \\
 &= 790.(41,289) / \sqrt{(250)} \\
 &= 2089,931 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_w &= (I_{flens}.h^2)/4 \\
 &= 1/12 \times B \times t_f^3 \times A^2/4 \\
 &= ((1/12)(175)(11)^3(244)^2)/4 \\
 &= 4775283,333 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 J &= 1/3 \times (b.t_f^3 + h.t_w^3) \\
 &= 1/3 \times ((175).(11^3)+(244).(7^3)) \\
 &= 1,0553 \times 10^5 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

$$G = 80000 \text{ MPa (ditentukan)}$$

$$\begin{aligned}
 X_1 &= \frac{\pi}{Z_x} \cdot \sqrt{\frac{1}{2} \cdot E \cdot G \cdot J \cdot A_g} \\
 &= \frac{\pi}{502000} \cdot \sqrt{\frac{1}{2} \cdot (2 \cdot 10^5)(8 \cdot 10^4) \cdot (1,05 \cdot 10^5) \cdot (5624)} \\
 &= 13637,04559 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 X_2 &= 4 \cdot \left(\frac{Z_x}{G \cdot J}\right)^2 \left(\frac{C_w}{I_y}\right) \\
 &= 4 \cdot \left(\frac{502000}{(8 \cdot 10^4)(1,05 \cdot 10^5)}\right)^2 \left(\frac{4775283,333}{9840000}\right) \\
 &= 6,86 \times 10^{-9} \text{ mm}^4/\text{N}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 L_r &= r_y \cdot \left(\frac{x_1}{f_y - f_r}\right) \sqrt{1 + \sqrt{1 + X_2 \cdot (f_y - f_r)^2}} \\
 &= 41,83 \cdot \left(\frac{13637,05}{250 - 70}\right) \sqrt{1 + \sqrt{1 + 6,86 \cdot 10^{-6} \cdot (250 - 70)^2}} \\
 &= 633,8007 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$L = 3468,175 \text{ mm}$$

Cek komponen struktur,

$$L = 3468,175 \text{ mm}$$

$$L_r = 633,8007 \text{ mm}$$

$$L_p = 2089,931 \text{ mm}$$

$$L_r \leq L, 633,8007 \text{ mm} \leq 3468,175 \text{ mm (Bentang Pendek)}$$



- Desain LRFD untuk Balok

	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
Garis terputus menunjukkan diagram kolom tertekuk						
Nilai $k$ , teoritis	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
Nilai $k$ , yang dianjurkan untuk kolom yang mendekati kondisi ideal	0.65	0.80	1.2	1.0	2.10	2.0

**Gambar 4.29.** Faktor Tekuk  $k$

Kondisi perletakan dimisalkan jepit-sendi, sehingga nilai  $k=0,80$

$$\begin{aligned}
 \lambda_x &= L \cdot k / i_x \\
 &= (3468,175) \cdot (0,8) / 104 \\
 &= 66,376 \\
 \lambda_{cx} &= (\lambda_x / \pi) \cdot (\sqrt{f_y / E}) \\
 &= (66,376 / \pi) / (\sqrt{250 / 200000}) \\
 &= 0,3952 \\
 w &= 1,43 / (1,6 - 0,67 \cdot \lambda_{cx}) \\
 &= 1,43 / (1,6 - (0,67)(0,3952)) \\
 &= 1,071 \\
 N_n &= A_g \cdot f_y / w \\
 &= (5624) \cdot (250) / (1,071) \\
 &= 1045,724 \text{ N} \\
 N_u / (\phi_{leleh} \cdot N_n) &= 68642 / ((0,9) \cdot (1045,724)) \\
 &= 7,29 > 0,2
 \end{aligned}$$

Maka digunakan rumus interaksi ke-2.

- Perbesaran Momen

$$\begin{aligned}
 C_m &= 0,6 - 0,4 \frac{M_1}{M_2} \\
 &= 0,6 - 0,4 \frac{9,2 \times 10^{-4}}{504,25} \\
 &= 0,60
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 N_{crb} &= (\pi^2 \cdot E \cdot Ag) / \lambda_x^2 \\
 &= (\pi^2 \cdot 200000 \cdot 5624) / (66,376)^2 \\
 &= 252017,1603 \text{ N} \\
 \delta_b &= C_m / (1 - (N_u / N_{crb})) \\
 &= 0,60 / (1 - (68642 / 252017,1603)) \\
 &= 0,824 \\
 Mu_y &= \delta_b \times M_{nt_y} \\
 &= 0,824 \times 504,25 \text{ kg.m} \\
 &= 415,502 \text{ kg.m} \\
 &= 4,15502 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

Cek dengan rumus interaksi,

$$\begin{aligned}
 \frac{N_u}{\phi \cdot N_n} + \frac{8}{9} \cdot \frac{Mu_y}{\phi \cdot M_{ny}} &\leq 1,00 \\
 \frac{68642}{(0,9)(1045,724)} + \frac{8}{9} \cdot \frac{50,425}{(0,9)(4,15)} &\leq 1,00 \\
 0,8474 &\leq 1,00 \text{ (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

### **Kesimpulan :**

**Sehingga profil WF 250.175.7.11 mencukupi untuk memikul beban-beban yang ada sesuai dengan desain LRFD.**

*Halaman Ini Sengaja Dikosongkan*

## 4.2. Perhitungan Struktur

### 4.2.1. Pembebanan Struktur

#### 4.2.1.1. Pembebanan Plat

Pembebanan struktur plat merupakan komponen struktur sekunder dengan syarat mengalami kehancuran lebih awal daripada komponen struktur primer. Dengan demikian komponen struktur pelat padaperencanaan tidak dimasukkan dalam pemodelan SAP 2000, sehingga perhitungan komponen struktur pelat atau pelat atap harus direncanakan dibebankan dan dihitung sendiri.

Pembebanan yang terdapat pada komponen struktur pelat disesuaikan dengan SNI 1727: 2013. Karena struktur pelat merupakan salah satu komponen sekunder maka direncanakan hanya menerima beban mati (DL) dan beban hidup (LL) dengan menggunakan kombinasi pembebanan yang sesuai dengan **SNI 03-2847-2013 pasal 9,2,1**, yaitu  $1,2DL+1,6LL$ .

- Beban mati sesuai dengan SNI 1727:2013
 

Berat pelat (15 cm)	$= 0,15 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3$
	$= 360 \text{ kg/m}^2$
Berat spesi (1 cm)	$= 1 \times 21 \text{ kg/m}^2$
	$= 21 \text{ kg/m}^2$
Berat keramik (1 cm)	$= 1 \times 24 \text{ kg/m}^2$
	$= 24 \text{ kg/m}^2$
Berat plafond + Penggantung	$= 18 \text{ kg/m}^2$
Pemipaan air	$= 25 \text{ kg/m}^2$
Instalasi listrik, AC	$= 40 \text{ kg/m}^2$
q DL	$= 488 \text{ kg/m}^2$
- Beban hidup sesuai dengan SNI 1727:2013
 

Beban hidup lantai	$= 479 \text{ kg/m}^2$
Beban hidup lantai	$= 96 \text{ kg/m}^2$
Atap	
Beban hujan	$= 19,790 \text{ kg/m}^2$

#### 4.2.1.2. Pembebanan Tangga

Tidak berbeda dengan pembebanan pelat lantai ataupun pelat atap pada tangga, pembebanan yang terdapat pada komponen struktur disesuaikan dengan SNI 1727:2013. Karena struktur tangga merupakan salah satu komponen struktur sekunder maka direncanakan hanya menerima beban mati (DL) dan beban hidup (LL) dengan menggunakan kombinasi pembebanan sesuai dengan **SNI 03-2847-2013 pasal 9.2.1** yaitu 1,2DL+1,6LL.

❖ Berat pelat anak tangga

- Beban mati tangga + bordes sesuai dengan SNI 1727:2013

$$\begin{aligned}\text{Berat plat (15 cm)} &= 0,12 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \\ &= 288 \text{ kg/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat anak tangga} &= 0,1514 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \\ &= 363,63 \text{ kg/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat keramik (1 cm)} &= 1 \times 24 \text{ kg/m}^2 \\ &= 24 \text{ kg/m}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Berat spesi (1 cm)} &= 1 \times 21 \text{ kg/m}^2 \\ &= 21 \text{ kg/m}^2\end{aligned}$$

$$\text{Berat pegangan} = 10 \text{ kg/m}^2$$

$$q \text{ DL} = 706,63 \text{ kg/m}^2$$

- Beban hidup tangga + bordes sesuai dengan SNI 1727:2013

$$\text{Beban hidup tangga} = 479 \text{ kg/m}^2$$

#### 4.2.1.3. Pembebanan Dinding

Komponen struktur dinding tidak dimasukkan dalam pemodelan SAP 2000 sehingga dibebankan/didistribusikan pada komponen yang berada diatas sisi komponen balok. Pendistribusian beban komponen struktur dinding kekomponen balok merupakan distribusi beban tetap (beban mati).

Dikerenakan beban pada komponen dinsing yaitu luasan, sedangkan beban pada komponen balok merupakan beban merata, sehingga beban harus

dikonversikan ke beban balok. Pembebanan yang ada pada komponen struktur dinding disesuaikan dengan SNI 1727:2013, yaitu  $146 \text{ kg/m}^2$ .

- ❖ Tinggi dinding tiap lantai
  - Lantai 1 [H1] = 4,50 meter
  - Lantai 2 [H2] = 3,57 meter
  - Lantai 3 [H3] = 3,57 meter
  - Lantai 4 [H4] = 3,57 meter
- ❖ Perhitungan
  - Beban merata lantai 1
 
$$= H1 \times 146 \text{ kg/m}^2$$

$$= 4,5 \text{ m} \times 146 \text{ kg/m}^2$$

$$= 657 \text{ kg/m}$$
  - Beban merata lantai 2
 
$$= H2 \times 146 \text{ kg/m}^2$$

$$= 3,57 \times 146 \text{ kg/m}^2$$

$$= 521,22 \text{ kg/m}$$
  - Beban merata lantai 3
 
$$= H3 \times 146 \text{ kg/m}^2$$

$$= 3,57 \times 146 \text{ kg/m}^2$$

$$= 521,22 \text{ kg/m}$$
  - Beban merata lantai 4
 
$$= H4 \times 146 \text{ kg/m}^2$$

$$= 3,57 \times 146 \text{ kg/m}^2$$

$$= 521,22 \text{ kg/m}$$

Catatan : Pada pemodelan SAP2000, beban dinding ditambahkan pada balok-balok tertentu, yaitu pada daerah yang terkena beban dinding atau penyekat ruangan.

#### 4.2.1.4. Pembebanan Kolom

Beban pada kolom berupa beban angin secara vertical sebesar  $2,75 \text{ kg/m}^2$  berdasarkan perhitungan SNI 1727:2013.

#### 4.2.1.5. Pembebanan Gempa

Jumlah tingkat gedung ruko adalah 4 tingkat dengan atap rangka baja yang tingginya +1,00 meter dari lantai teratas. Pada perhitungan beban gempa struktur ada beberapa faktor yang perlu diperhatikan untuk

menentukan jenis gedung apakah termasuk gedung beraturan atau tidak beraturan dan bila sudah dikategorikan, selanjutnya dilakukan pengecekan terhadap kategori gedung tersebut.

Ada beberapa persyaratan yang harus dipenuhi bila suatu gedung termasuk gedung beraturan atau gedung tidak beraturan. Bangunan ruko 4 lantai termasuk **gedung beraturan** sehingga perhitungan gempa memakai **metode statik ekuivalen**.

#### A. Klasifikasi Situs Tanah

Jenis kategori tanah dalam pasal SNI 03-1726-2012 dibedakan menjadi tanah keras, sedang, lunak, khusus. Jenis tanah pada lokasi bangunan adalah tanah lunak berdasarkan perhitungan menggunakan perhitungan SPT berikut ini :

$$\bar{N} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{N_i}}$$

Berdasarkan perhitungan didapatkan nilai  $\bar{N}$  adalah 22,32 maka termasuk kelas situs tanah sedang (SD) sesuai dengan SNI 1726:2012.

#### B. Faktor Percepatan Batuan Dasar ( $S_s$ , $S_1$ )

Parameter  $S_1$  (percepatan batuan dasar pada periode pendek) dan  $S_s$  (percepatan batuan dasar pada periode 1 detik) harus diteapkan masing-masing dari *respon spectral* percepatan 0,2d detik dan 1 detik dalam peta gerak tanah seismik dengan kemungkinan 10% terlampaui dalam 50 tahun ( $M_{CER}$ , 10% dalam 50 tahun), dan dinyatakan dalam bilangan decimal terhadap percepatan gravitasi. Sesuai dengan peta *Hazzard* Indonesia 2010 nilai  $S_s$  dan  $S_1$  di Surabaya berturut-turut adalah 0,30 dan 0,12.

**C. Faktor Koefisien Situs ( $F_a$ ,  $F_v$ ) dan Parameter Respon ( $S_{MS}$ ,  $S_{M1}$ )**

Dimana nilai  $F_a$  dan  $F_v$  ditentukan berdasarkan pada tabel 2.3 dan 2.4.

Maka didapatkan nilai  $S_{MS}$  dan  $S_{M1}$ ,

$S_{MS} = F_a \times S_S$ , nilai  $F_a$  dapat dicari dengan cara interpolasi

$$\begin{aligned} F_a &= 1,60 - \frac{0,3-0,25}{0,50-0,25} \times (1,6 - 1,4) \\ &= 1,56 \text{ sehingga } S_{MS} \text{ dapat dihitung} \end{aligned}$$

Parameter spectrum respons percepatan pada periode pendek,

$$\begin{aligned} S_{MS} &= 1,56 \times 0,30 \\ &= 0,468 \end{aligned}$$

Parameter spektrum respons percepatan pada periode 1 detik,

$$\begin{aligned} S_{M1} &= F_v \times S_I \\ &= 2,0 \times 0,12 \\ &= 0,24 \end{aligned}$$

**D. Parameter Percepatan Desain ( $S_{D1}$ ,  $S_{DS}$ ) sesuai SNI 1726-2012 Pasal 6.3**

Parameter percepatan spectral desain untuk periode pendek,

$$\begin{aligned} S_{DS} &= 2/3 \times S_{MS} \\ &= 2/3 \times 0,468 \\ &= 0,312 \end{aligned}$$

Parameter percepatan spektral desain untuk periode 1 detik,

$$\begin{aligned} S_{D1} &= \frac{2}{3} \times S_{M1} \\ &= 2/3 \times 0,24 \\ &= 0,16 \end{aligned}$$

**E. Faktor keutamaan (I)**

Bangunan ruko 4 lantai di Surabaya direncanakan sebagai gedung yang memiliki resiko rendah



terhadap jiwa manusia pada saat terjadi kegagalan dan tidak termasuk dalam kategori I, III, IV dalam SNI 1726:2012, termasuk dalam kategori resiko II dan berdasarkan tabel 2.10 didapatkan faktor keutamaan ( $I_e$ ) = 1,0.

#### F. Massa Struktur

Massa struktur akan ditentukan berasal dari :

- Berat sendiri struktur (*self weight*) seperti elemen balok, kolom, pelat, dan profil baja pada atap.
- Beban mati tambahan (*super imposed dead load*) seperti *finishing*, keramik, dinding, dan lain-lain.
- Beban hidup yang dianggap tetap seperti perabotan yang besarnya berkisar 30%.

Perhitungan beban struktur dihitung berdasarkan berat tiap lantai tipe ruko yang ada pada gambar. Pada gambar terdapat 2 tipe ruko, yaitu dengan ukuran 6,7 meter x 20,5 meter dan 5,0 meter x 20,5 meter.

Catatan : Perhitungan massa struktur dilampirkan.

#### G. Nilai Fundamental Pendekatan

Periode fundamental pendekatan ( $T_a$ ), dalam detik, harus ditentukan dari persamaan,

$$T_a = C_t \cdot h_n^x$$

- Untuk rangka beton pemikul momen,  $C_t$  dan  $x$  didapatkan dari SNI 1726:2012 pasal 7.8.2.1,  $C_t = 0,0466$  dan  $x = 0,9$ .

Sedangkan  $h_n$  adalah tinggi total struktur

$$h_n = 17,21 \text{ meter}$$

Sehingga, nilai  $T_a$

$$\begin{aligned} T_a &= 0,0466 \times (17,21)^{0,9} \\ &= 0,603 \end{aligned}$$

- Untuk rangka baja pemikul momen,  $C_t$  dan  $x$  didapatkan dari SNI 1726:2012 pasal 7.8.2.1,  $C_t = 0,0724$  dan  $x = 0,8$ .

Sedangkan  $h_n$  adalah tinggi total struktur

$h_n = 17,21$  meter

Sehingga, nilai  $T_a$

$$\begin{aligned} T_a &= 0,0724 \times (17,21)^{0,8} \\ &= 0,705 \end{aligned}$$

#### H. Nilai Koefisien Respons Seismik

Koefisien respon seismic,  $C_s$ , harus ditentukan sesuai dengan persamaan,

$$C_s = \frac{S_{DS}}{\left(\frac{R}{I_e}\right)}$$

Dengan nilai,

$R = 5,0$  untuk SRPMM

$S_{DS} = 0,312$

$I_e = 1,00$

$$C_s = \frac{0,312}{\left(\frac{5,00}{1,00}\right)}$$

$C_s = 0,0624$

$C_s$  hitungan tidak boleh melebihi persamaan,

$$C_s = \frac{S_{D1}}{T \cdot \left(\frac{R}{I_e}\right)}$$

Untuk rangka beton

Dengan nilai,

$T = T_a = 0,603$

$R = 5,0$  untuk SRPMM

$S_{D1} = 0,160$

$I_e = 1,00$

$$C_s = \frac{0,160}{(0,603) \cdot \left(\frac{5,00}{1,00}\right)}$$

$$C_s = 0,0624$$

Serta  $C_s$  harus kurang dari,

$$C_s = 0,044 \cdot S_{DS} \cdot I_e \geq 0,01$$

Dimana nilai,

$$S_{DS} = 0,312$$

$$I_e = 1,00$$

$$C_s = 0,044 \cdot (0,312) \cdot (1,00) \geq 0,01$$

$$= 0,014$$

Maka nilai  $C_s$  yang diambil = 0,0624.

#### I. Nilai Geser Dasar Seismik

Geser dasar seismic dapat dicari dengan persamaan,

$$V = C_s \times W_{\text{struktur}}$$

$$= 0,0624 \times 15641181,21 \text{ kg}$$

$$= 976009,708 \text{ kg}$$

#### J. Mencari Gaya Seismik Lateral

Dengan persyaratan,

- Untuk nilai  $T < 0,5$  detik, maka nilai  $k=1$
- Untuk nilai  $T > 2,5$  detik, maka nilai  $k=2$
- Untuk nilai  $T \ 0,5 < T < 2,5$  detik, maka nilai  $k$  adalah hasil interpolasi.

Nilai  $T = 0,603$

Nilai  $k$  hasil interpolasi adalah  $k = 0,0659784$

#### K. Distribusi Gaya Gempa

Untuk menghitung distribusi gaya gempa per lantai dapat dihitung dengan cara seperti di bawah ini

**Tabel 4.7.** Besar  $H_x$  per Lantai

Lantai	$h_x$
	(m)
Lt. Dasar (F0)	0,00
Lt. 1 (F1)	4,50
Lt. 2 (F2)	8,07

Lt. 3 (F3)	11,64
Lt.4 (F4)	15,21
Atap (F5)	17,63

Sehingga dapat dihitung gaya gempa per lantai yang bekerja pada portal memanjang As 3 A-Z adalah,

$W_x$  = berat lantai ke-x

$H_x$  = tinggi lantai ke-x

$k$  = 0,065984

$V$  = 976009,708 kg

$C_s$  = 0,0624

dimana,

$W_0$  = 634173,45 kg

$W_1$  = 634173,45 kg

$W_2$  = 514739,10 kg

$W_3$  = 496559,10 kg

$W_4$  = 496559,10 kg

$W_5$  = 359477,30 kg

Maka hasil perhitungan gaya gempa per lantai,

**Tabel 4.8.** Perhitungan Gaya Gempa per Lantai untuk Portal Memanjang As 3 A-Z

Nama	$W_x \cdot h_x^k$	$C_{vx}$	$V = C_s \cdot W_x$	$F_x = C_{vx} \cdot V$
F0	0	0	57075,611	0
F1	702149,85	0,30412	57075,611	17358,113
F2	591634,28	0,25625	46326,519	11871,487
F3	584440,82	0,25314	44690,319	11312,957
F4	584440,82	0,25314	44690,319	11312,957
F5	430530,16	0,18647	32352,957	6033,0884

**Tabel 4.9.** Rekapitulasi Gaya Gempa per Lantai untuk Portal Memanjang As 3 A-Z (kg)

Nama	$F_x$	$30\%F_x$	$F_y$	$30\%F_y$
F0	0	0	0	0
F1	17358,113	5207,433	17358,113	5207,433
F2	11871,487	3561,446	11871,487	3561,446
F3	11312,957	3393,887	11312,957	3393,887
F4	11312,957	3393,887	11312,957	3393,887
F5	6033,088	1809,926	6033,088	1809,926

#### L. Eksentrisitas Struktur

Pada SNI 2847:2013 pasal 5.4.3 pusat massa dan pusat rotasi lantai tingkat harus ditinjau suatu eksentrisitas rencana (ed). Apabila ukuran horizontal terbesar denah struktur gedung pada lantai tingkat itu, diukur tegak lurus pada arah pembebanan gempa, dinyatakan dengan (b) maka eksentrisitas rencana (ed) harus ditentukan.

- Pusat Massa Struktur

Elemen struktur pada setiap lantai yang dihitung titik beratnya,

Lantai dasar : Sloof dan dinding

Lantai 1 : Balok, kolom, plat, dinding

Lantai 2 : Balok, kolom, plat, dinding

Lantai 3 : Balok, kolom, plat, dinding

Lantai 4 : Balok, kolom, plat, dinding

Atap : Struktur baja dan dinding

Sehingga dapat ditentukan titik berat bangunan adalah,

$$\begin{aligned}
 X_a &= M_x / W_{\text{total}} \\
 &= 50897624,4 \text{ kg.m} / 1963305 \text{ kg} \\
 &= 25,92 \text{ meter}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Y_a &= M_y / W_{\text{total}} \\
 &= 17080830,53 \text{ kg.m} / 1963305 \text{ kg} \\
 &= 8,70 \text{ meter}
 \end{aligned}$$

- Pusat Kekakuan Struktur  

$$X_a = \Sigma(L_x \cdot X) / \Sigma L_x$$

$$= 692,45 \text{ m}^2 / 42,40 \text{ m}$$

$$= 16,33 \text{ meter}$$

$$Y_a = \Sigma(L_y \cdot Y) / \Sigma L_y$$

$$= 946,16 \text{ m}^2 / 42,40 \text{ m}$$

$$= 22,31 \text{ meter}$$
- Eksentrisitas

**Tabel 4.10.** Rekapitulasi Pusat Massa dan Pusat Kekakuan Struktur

Lantai	Pusat Massa (m)		Pusat Kekakuan (m)	
	Arah X	Arah Y	Arah X	Arah Y
Dasar	22,56	12,48	16,33	22,32
1	22,56	9,68	16,33	22,32
2	22,56	9,68	16,33	22,32
3	22,56	9,68	16,33	22,32
4	22,56	9,68	16,33	22,32

Tinggi bangunan = 17,63 meter

Eksentrisitas struktur adalah :

Eksentrisitas = Pusat Massa – Pusat Kekakuan

**Tabel 4.11.** Rekapitulasi Eksentrisitas Struktur per Lantai

Lantai	Eksentrisitas (m)	
	Arah X	Arah Y
Dasar	6,23	9,84
1	8,95	12,63
2	8,95	12,63
3	8,95	12,63
4	8,95	12,63

*Halaman Ini Sengaja Dikosongkan*

### 4.3. Perencanaan Dimensi dan Tulangan Pelat

#### 4.3.1. Perencanaan Pelat

Pelat/ slab adalah bidang tipis yang menahan beban-beban transfersal melalui aksi lentur ke masing-masing tumpuan. Dalam *design*, gaya-gaya pada pelat bekerja menurut aksi satu arah dan dua arah. Jika perbandingan dari bentang panjang ( $L_y$ ) terhadap bentang pendek ( $L_x$ ) besarnya 2 kali lebar atau lebih, maka semua beban lantai menuju balok-balok sebagian kecil akan menyalur secara langsung ke gelagar. Sehingga pelat dapat direncanakan sebagai **pelat satu arah** (*one way slab*), dengan tulangan utama yang sejajar dengan gelagar dan tulangan susut dan suhu yang sejajar dengan balok-balok. Sedangkan bila perbandingan dari bentang panjang ( $L_y$ ) terhadap bentang pendek ( $L_x$ ) besarnya lebih dari 2,0 maka seluruh beban lantai menyebabkan permukaan lendutan pelat mempunyai kelengkungan ganda. Beban lantai dipikul dalam kedua arah oleh empat balok pendukung disekelilingnya, dengan demikian panel disebut **pelat dua arah** (*two way slab*), dengan tulangan utama dipasang 2 arah yaitu searah sumbu X dan searah sumbu Y, sedangkan tulangan susut dan suhu dipasang mengitari pelat tersebut. *(Desain Beton Bertulang, oleh C.K.Wang dan C.G.Salmon Bab 16).*

Pelat direncanakan menerima beban berdasarkan SNI 1727:2013 Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain berdasarkan fungsi tiap lantai, kombinasi pembebanan yang digunakan adalah,

$$U = 1,2DL + 1,6LL$$

Dimana :

U = Beban ultimate pelat

DL = Beban mati pelat

LL = Beban hidup pelat

##### 4.3.1.1. Penulangan Plat Type 1 (3,69 x 5,0 m) As A-B 7-6

- Bentang bersih pelat sumbu panjang :



$$L_n = L_y - \frac{b_w}{2} - \frac{b_w}{2}$$

$$L_n = 500 - \frac{25}{2} - \frac{25}{2}$$

$$L_n = 475 \text{ cm}$$

- Bentang bersih pelat sumbu pendek :

$$S_n = l_x - \frac{b_w}{2} - \frac{b_w}{2}$$

$$S_n = 369 - \frac{25}{2} - \frac{25}{2}$$

$$S_n = 344 \text{ cm}$$

- Rasio antara bentang bersih sumbu panjang terhadap bentang bersih sumbu pendek,

$$\beta_n = \frac{L_n}{S_n} = \frac{475}{344} = 1,38 \leq 2,0 \text{ (Two ways slab)}$$

- Perhitungan beban-beban pelat

- Beban mati sesuai dengan SNI 1727:2013

$$\begin{aligned} \text{Berat pelat (15 cm)} &= 0,15 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \\ &= 360 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat spesi (1 cm)} &= 1 \times 21 \text{ kg/m}^2 \\ &= 21 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat keramik (1 cm)} &= 1 \times 24 \text{ kg/m}^2 \\ &= 24 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat plafond +} &= 18 \text{ kg/m}^2 \\ \text{Penggantung} & \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pemipaan air} &= 25 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Instalasi listrik, AC} &= 40 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{q DL} &= 488 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

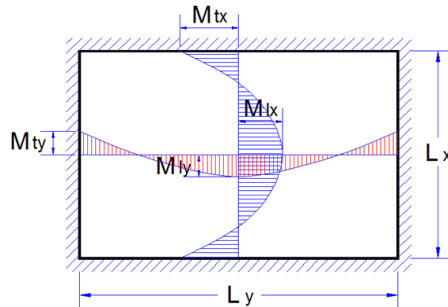
- Beban hidup sesuai dengan SNI 1727:2013

$$\begin{aligned} \text{Beban hidup lantai} &= 479 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

- Beban Ultimate

$$\begin{aligned} Q_u &= 1,2(q \text{ DL}) + 1,6(q \text{ LL}) \\ &= 1,2 (488 \text{ kg/m}^2) + 1,6(479 \text{ kg/m}^2) \\ &= 1352 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

Diasumsikan perletakan pelat lantai adalah **jepit penuh**. Dimana dalam menganalisa gaya-gaya dalam yang terjadi pada pelat menggunakan SNI 2847:2013,



**Gambar 4.30.** Perletakan Momen pada Pelat dan Diagram Momen yang Terjadi pada Pelat

- Perhitungan Momen yang Terjadi pada Pelat

$$M_o = \frac{q_u \cdot l_n^2 \cdot L_2}{8} \quad (\text{SNI 2847:2013 Pasal 13.6.2.2})$$

Dimana :

$L_n$  = bentang bersih dalam arah momen-momen tersebut ditentukan

$L_2$  = bentang dari as ke as dalam arah momen-momen tersebut ditentukan

$q_u$  = beban ultimate (1,2DL+1,6LL) yang bekerja pada plat yang ditinjau

- Arah X

$$L_2 = 5,0 \text{ meter} = 500 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} L_n &= L_y - \frac{b_w}{2} - \frac{b_w}{2} \\ &= 500 - \frac{25}{2} - \frac{25}{2} \\ &= 475 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$q_u = 1352 \text{ kg/m}^2$$

$$M_o = \frac{q_u \cdot l_n^2 \cdot L_2}{8}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1352 \cdot (4,75^2)(5,0)}{8} \\
 &= 19065,3125 \text{ kg.m} \\
 &= 1906531250 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

- Arah Y

$$L_2 = 3,69 \text{ meter} = 369 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned}
 L_n &= l_x - \frac{b_w}{2} - \frac{b_w}{2} \\
 &= 369 - \frac{25}{2} - \frac{25}{2} \\
 &= 344 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$q_u = 1352 \text{ kg/m}^2$$

$$\begin{aligned}
 M_o &= \frac{q_u \cdot l_n^2 \cdot L_2}{8} \\
 &= \frac{1352 \cdot (3,44^2)(3,69)}{8} \\
 &= 7379,551296 \text{ kg.m} \\
 &= 737955129,6 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

- Distribusi Momen pada Pelat type 1 (SNI 2847:2013 Pasal 13.6)

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	Tepi eksterior tak-terkekang	Slab dengan balok di antara semua tumpuan	Slab tanpa balok di antara tumpuan interior Tanpa balok tepi	antara tumpuan interior Dengan balok tepi	Tepi eksterior terkekang penuh
Momen terfaktor negatif interior	0,75	0,70	0,70	0,70	0,65
Momen terfaktor positif	0,63	0,57	0,52	0,50	0,35
Momen terfaktor negatif eksterior	0	0,16	0,26	0,30	0,65

**Gambar 4.31.** Distribusi Momen pada Pelat Dua Arah dengan Metode Desain Langsung (SNI 2847:2013 Pasal 13.6.3.3)

Koefisien yang digunakan adalah :

$$\text{Momen terfaktor negatif interior} = 0,70$$

$$\text{Momen terfaktor positif} = 0,50$$

$$\text{Momen terfaktor negatif eksterior} = 0,30$$

- Arah X

$$M_o = 1906531250 \text{ N.mm}$$

$$\begin{aligned}
 M_{\text{negatif interior}} &= 0,70 \times M_o \\
 &= 0,70 \times 1906531250 \text{ N.mm} \\
 &= 1334571875 \text{ N.mm} \\
 M_{\text{positif}} &= 0,50 \times M_o \\
 &= 0,50 \times 1906531250 \text{ N.mm} \\
 &= 953265625 \text{ N.mm} \\
 M_{\text{negatif eksterior}} &= 0,30 \times M_o \\
 &= 0,30 \times 1906531250 \text{ N.mm} \\
 &= 571959375 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$


- Arah Y

$$\begin{aligned}
 M_o &= 737955129,6 \text{ N.mm} \\
 M_{\text{negatif interior}} &= 0,70 \times M_o \\
 &= 0,70 \times 737955129,6 \text{ N.mm} \\
 &= 516568590,7 \text{ N.mm} \\
 M_{\text{positif}} &= 0,50 \times M_o \\
 &= 0,50 \times 737955129,6 \text{ N.mm} \\
 &= 368977564,8 \text{ N.mm} \\
 M_{\text{negatif eksterior}} &= 0,30 \times M_o \\
 &= 0,30 \times 737955129,6 \text{ N.mm} \\
 &= 221386538,9 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

**Tabel 4.12.** Rekapitulasi Momen pada Pelat Type 1 (SNI 2847:2013)

Momen	$M_x$ (N.mm)	$M_y$ (N.mm)
Tumpuan Int.	1334571875	516568590,7
Positif	953265625	368977564,8
Tumpuan Eks.	571959375	221386538,9

• Distribusi Momen pada Pelat type 1 (PBI 1971)

II		$M_x = +0.001 q_d l_x^2 X$	21	25	28	31	34	36	37	38	40	40	41	41	41	42	42	42	42	
		$M_x = +0.001 q_d l_x^2 X$	21	21	20	19	18	17	16	14	13	12	12	11	11	11	11	10	10	8
		$M_y = +0.001 q_d l_y^2 X$	32	39	64	69	73	76	79	81	82	83	83	83	83	83	83	83	83	83
		$M_y = +0.001 q_d l_y^2 X$	32	34	36	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37

**Gambar 4.32.** Momen pada Plat (Beton Bertulang Indonesia 1971 (PBBI 1971) Pasal 13.3. Tabel 13.3.(1) halaman 202)

Karena,  $L_y/L_x = 1,38 \approx 1,40$  dengan perletakan pelat **terjepit penuh**, maka didapatkan momen distribusi plat,

$$M_{tx} = +0,001 \cdot q_u \cdot L_x^2 \cdot X; X = 73$$

$$M_{lx} = +0,001 \cdot q_u \cdot L_x^2 \cdot X; X = 34$$

$$M_{ty} = +0,001 \cdot q_u \cdot L_x^2 \cdot X; X = 57$$

$$M_{ly} = +0,001 \cdot q_u \cdot L_x^2 \cdot X; X = 18$$

$$q_u = 1352 \text{ kg/m}^2$$

$$L_x = 5,0 \text{ meter}$$

$$M_{tx} = +0,001 \cdot q_u \cdot L_x^2 \cdot X$$

$$= +0,001 \cdot (1352 \text{ kg/m}^2) \cdot (2,5 \text{ m})^2 \cdot (73)$$

$$= +616,85 \text{ kg.m}$$

$$= +61685000 \text{ N.mm}$$

$$M_{lx} = +0,001 \cdot q_u \cdot L_x^2 \cdot X$$

$$= +0,001 \cdot (1352 \text{ kg/m}^2) \cdot (2,5 \text{ m})^2 \cdot (34)$$

$$= +287,3 \text{ kg.m}$$

$$= +28730000 \text{ N.mm}$$

$$M_{ty} = +0,001 \cdot q_u \cdot L_x^2 \cdot X$$

$$= +0,001 \cdot (1352 \text{ kg/m}^2) \cdot (2,5 \text{ m})^2 \cdot (57)$$

$$= +481,65 \text{ kg.m}$$

$$= +48165000 \text{ N.mm}$$

$$M_{ly} = +0,001 \cdot q_u \cdot L_x^2 \cdot X$$

$$= +0,001 \cdot (1352 \text{ kg/m}^2) \cdot (2,5 \text{ m})^2 \cdot (18)$$

$$= +152,1 \text{ kg.m}$$

$$= +15210000 \text{ N.mm}$$

**Tabel 4.13.** Rekapitulasi Momen pada Pelat Type 1 (**PBI 1971**)

Momen	$M_x$ (N.mm)	$M_y$ (N.mm)
Tumpuan	61685000	48165000
Lapangan	28730000	15210000

- Penentuan Tebal Efektif Pelat



**Gambar 4.33.** Potongan Memanjang Pelat

Diketahui,

$\varnothing$  tulangan = 10 mm (asumsi)

Tebal selimut beton

$h = 150$  mm

$dx = h - \text{tebal selimut beton} - \frac{1}{2} \varnothing$   
 $= (150 - 20 - \frac{1}{2} (10))$  mm  
 $= 135$  mm

$dy = h - \text{tebal selimut beton} - \varnothing - \frac{1}{2} \varnothing$   
 $= (150 - 20 - 10 - \frac{1}{2} (10))$  mm  
 $= 125$  mm

- Tulangan Minimum dan Maksimum

Diketahui :

$f_y = 400$  Mpa

$f'_c = 30$  Mpa

$\beta = 0,8375$

$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$

$\rho_{\text{balance}} = \frac{0,85 \cdot f'_c \cdot \beta}{f_y} + \frac{600}{600 + f_y}$

$\rho_{\text{balance}} = \frac{(0,85) \cdot (30) \cdot (0,8375)}{400} + \frac{600}{600 + 400}$   
 $= 0,653$

$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_{\text{balance}}$   
 $= 0,75 \times 0,653$   
 $= 0,0244$

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{f_y}{0,85 \cdot f'_c} \\
 &= \frac{400}{0,85 \cdot (30)} \\
 &= 15,69
 \end{aligned}$$

- Penulangan Pelat Tumpuan Arah X

$$M_{tx} = 61685000 \text{ N.mm}$$

$$\phi = 0,9$$

$$d_x = 135 \text{ mm}$$

$$b = 1000 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= (M_{tx})/\phi \\
 &= (61685000 \text{ N.mm})/(0,9) \\
 &= 68538888,89 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_n &= (M_n)/(b \cdot d_x^2) \\
 &= (68538888,89 \text{ N.mm})/((1000)(135^2)) \\
 &= 3,76
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho &= \frac{1}{m} \cdot \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right] \\
 &= \frac{1}{15,69} \cdot \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot (15,69) \cdot (3,76)}{400}} \right] \\
 &= 0,0102
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Syarat, } \rho_{\min} &< \rho < \rho_{\max} \\
 0,0035 &< 0,0102 < 0,0244 \text{ (OK)}
 \end{aligned}$$

$$\text{Maka } \rho = 0,0102$$

$$\begin{aligned}
 A_s &= \rho \times b \times d_x \\
 &= (0,0102) \cdot (1000 \text{ mm}) \cdot (135 \text{ mm}) \\
 &= 1350 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\text{Syarat spasi antartulangan : } S_{\max} \leq 2h$$

$$\begin{aligned}
 S_{\max} &= 2 \cdot (150) \\
 &= 300 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\text{Dicoba tulangan } \emptyset = 10 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot \emptyset^2 \cdot b}{A_s} \\
 &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (10)^2 \cdot (1000)}{1350} \\
 &= 58,177 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$S = 58,177 \text{ mm} \leq 300 \text{ mm} \text{ (OK)}$$

Maka digunakan  $S = 50 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} A_{s \text{ pakai}} &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot \phi^2 \cdot b}{S_{\text{pakai}}} \\ &= (0,25) \cdot (\pi) \cdot (10^2) \cdot (1000) / (50) \\ &= 1570,80 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Syarat, } A_{s \text{ pakai}} &> A_{s \text{ perlu}} \\ 1350 \text{ mm}^2 &> 1570,80 \text{ mm}^2 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

- Penulangan Pelat Tumpuan Arah Y

$$M_{ty} = 48165000 \text{ N.mm}$$

$$\phi = 0,9$$

$$d_y = 125 \text{ mm}$$

$$b = 1000 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_n &= (M_{ty}) / \phi \\ &= (48165000 \text{ N.mm}) / (0,9) \\ &= 53516666,67 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_n &= (M_n) / (b \cdot d_y^2) \\ &= (53516666,67 \text{ N.mm}) / ((1000)(125^2)) \\ &= 3,43 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{1}{m} \cdot \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right] \\ &= \frac{1}{15,69} \cdot \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot (15,69) \cdot (3,43)}{400}} \right] \\ &= 0,00925 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Syarat, } \rho_{\min} &< \rho < \rho_{\max} \\ 0,0035 &< 0,00925 < 0,0244 \text{ (OKE)} \end{aligned}$$

$$\text{Maka } \rho = 0,00925$$

$$\begin{aligned} A_s &= \rho \times b \times d_y \\ &= (0,00925) \cdot (1000 \text{ mm}) \cdot (125 \text{ mm}) \\ &= 1156,25 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Syarat spasi antartulangan : } S_{\max} \leq 2h$$

$$\begin{aligned} S_{\max} &= 2 \cdot (150) \\ &= 300 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Dicoba tulangan } \phi = 10 \text{ mm}$$



$$\begin{aligned}
 S &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot \phi^2 \cdot b}{A_s} \\
 &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (10)^2 \cdot (1000)}{1156,25} \\
 &= 67,92 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$S = 67,92 \text{ mm} \leq 300 \text{ mm} \text{ (OKE)}$$

Maka digunakan  $S = 65 \text{ mm}$

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ pakai}} &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot \phi^2 \cdot b}{S_{\text{pakai}}} \\
 &= (0,25) \cdot (\pi) \cdot (10^2) \cdot (1000) / (65) \\
 &= 1208,304 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Syarat, } A_{s \text{ pakai}} &> A_{s \text{ perlu}} \\
 1208,304 \text{ mm}^2 &> 1156,25 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}
 \end{aligned}$$

- Penulangan Pelat Lapangan Arah X

$$M_{\text{lx}} = 28730000 \text{ N.mm}$$

$$\phi = 0,9$$

$$d_x = 135 \text{ mm}$$

$$b = 1000 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= (M_{\text{lx}}) / \phi \\
 &= (28730000 \text{ N.mm}) / (0,9) \\
 &= 31922222,22 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_n &= (M_n) / (b \cdot d_x^2) \\
 &= (31922222,22 \text{ N.mm}) / ((1000)(135^2)) \\
 &= 1,75
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho &= \frac{1}{m} \cdot \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right] \\
 &= \frac{1}{15,69} \cdot \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot (15,69) \cdot (1,75)}{400}} \right] \\
 &= 0,00453
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Syarat, } \rho_{\min} &< \rho < \rho_{\max} \\
 0,0035 &< 0,00453 < 0,0244 \text{ (OKE)}
 \end{aligned}$$

Maka  $\rho = 0,00453$

$$\begin{aligned}
 A_s &= \rho \times b \times d_x \\
 &= (0,00453) \cdot (1000 \text{ mm}) \cdot (135 \text{ mm}) \\
 &= 611,55 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Syarat spasi antartulangan :  $S_{\max} \leq 2h$

$$S_{\max} = 2.(150) \\ = 300 \text{ mm}$$

Dicoba tulangan  $\emptyset = 10 \text{ mm}$

$$S = \frac{0,25.\pi.\emptyset^2.b}{A_s} \\ = \frac{0,25.\pi.(10)^2(1000)}{611,55} \\ = 128,42 \text{ mm}$$

$$S = 128,42 \text{ mm} \leq 300 \text{ mm} \text{ (OK)}$$

Maka digunakan  $S = 100 \text{ mm}$

$$A_{s \text{ pakai}} = \frac{0,25.\pi.\emptyset^2.b}{S_{\text{pakai}}} \\ = (0,25).(\pi).(10^2).(1000)/(100) \\ = 785,398 \text{ mm}^2$$

$$\text{Syarat, } A_{s \text{ pakai}} > A_{s \text{ perlu}} \\ 785,398 \text{ mm}^2 > 611,55 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

- Penulangan Pelat Lapangan Arah Y

$$M_{ty} = 15210000 \text{ N.mm}$$

$$\phi = 0,9$$

$$d_y = 125 \text{ mm}$$

$$b = 1000 \text{ mm}$$

$$M_n = (M_{ly})/\phi \\ = (15210000 \text{ N.mm})/(0,9) \\ = 16900000 \text{ N.mm}$$

$$R_n = (M_n)/(b.d_y^2) \\ = (16900000 \text{ N.mm})/((1000)(125^2)) \\ = 1,0816$$

$$\rho = \frac{1}{m} \cdot \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2.m.R_n}{f_y}} \right] \\ = \frac{1}{15,69} \cdot \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2.(15,69).(1,0816)}{400}} \right] \\ = 0,00276$$

$$\text{Syarat, } \rho_{\min} < \rho < \rho_{\max} \\ 0,0035 < 0,00276 < 0,0244 \text{ (OKE)}$$

$$\text{Maka } \rho = 0,00276$$

$$\begin{aligned}
 A_s &= \rho \times b \times d_y \\
 &= (0,00276) \cdot (1000 \text{ mm}) \cdot (125 \text{ mm}) \\
 &= 345 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Syarat spasi antartulangan :  $S_{\max} \leq 2h$

$$\begin{aligned}
 S_{\max} &= 2 \cdot (150) \\
 &= 300 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Dicoba tulangan  $\emptyset = 10 \text{ mm}$

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot \emptyset^2 \cdot b}{A_s} \\
 &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (10)^2 \cdot (1000)}{345} \\
 &= 227,65 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$S = 227,65 \text{ mm} \leq 300 \text{ mm} \text{ (OKE)}$$

Maka digunakan  $S = 200 \text{ mm}$

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ pakai}} &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot \emptyset^2 \cdot b}{S_{\text{pakai}}} \\
 &= (0,25) \cdot (\pi) \cdot (10^2) \cdot (1000) / (200) \\
 &= 392,699 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Syarat, } A_{s \text{ pakai}} &> A_{s \text{ perlu}} \\
 392,699 \text{ mm}^2 &> 345 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}
 \end{aligned}$$

- Tulangan Susut

Menurut **SNI 03-2847-2013 Pasal 9.12.2.1** : Untuk tulangan mutu 400 Mpa menggunakan rasio tulangan minimum ( $\rho_{\min}$ ) = 0,0018

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ susut} &= \rho_{\text{susut}} \times b \times \text{tebal plat} \\
 &= 0,0018 \times 1000 \text{ mm} \times 150 \text{ mm} \\
 &= 270 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Syarat :  $S_{\max} \leq 5h$  tau  $S_{\max} \leq 450 \text{ mm}$

$$\begin{aligned}
 S_{\max} &= 5(150) \\
 &= 750 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Dipakai tulangan  $\emptyset 8$

$$\begin{aligned}
 S &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot \emptyset^2 \cdot b}{A_s} \\
 &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (8)^2 \cdot (1000)}{270} \\
 &= 186,163 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\text{Syarat } S = 186,163 \text{ mm} < 450 \text{ mm} \text{ (OK)}$$

Maka dicoba  $S=150$  mm  
 Dipakai Tulangan  $\varnothing 8 - 150$ .

$$\begin{aligned} A_{s \text{ pakai}} &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot \varnothing^2 \cdot b}{S_{\text{pakai}}} \\ &= (0,25) \cdot (\pi) \cdot (8^2) \cdot (1000) / (150) \\ &= 335,103 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat,  $A_{s \text{ pakai}} > A_{s \text{ perlu}}$   
 $335,103 \text{ mm}^2 > 270 \text{ mm}^2$  (**OK**)

Tulangan tersebut dipasang pada lapis atas dan bawah, masing-masing pada ujung kiri dan kanan tumpuan, baik pada arah bentang  $L_X$  maupun  $L_Y$ .

Lebar lajur pemasangan tulangan susut, diukur dari muka bagian dalam balok-balok penumpuan ke arah lapangan pelat, masing-masing sebesar  $0,25L_n$ , yaitu :

- Ke arah bentang panjang  
 $= 0,25 \times (475 \text{ cm})$   
 $= 118,75 \text{ cm}$
- Ke arah bentang pendek  
 $= 0,25 \times (344 \text{ cm})$   
 $= 86 \text{ cm}$

**Tabel 4.14.** Rekapitulasi Penulangan Plat Type 1 As A-B 7-6

No	Nama	Arah	Tul.Utama	Tul.Susut
1	Plat Type 1	Tump. X	$\varnothing 10-50$	$\varnothing 8-150$
		Tump. Y	$\varnothing 10-65$	
		Lap. X	$\varnothing 10-100$	
		Lap. Y	$\varnothing 10-200$	

#### 4.3.1.2. Penulangan Plat Type 2 (6,7 x 2,5 m) As A-B 6-5

- Bentang bersih pelat sumbu panjang :

$$L_n = L_y - \frac{b_w}{2} - \frac{b_w}{2}$$

$$L_n = 670 - \frac{25}{2} - \frac{25}{2}$$

$$L_n = 645 \text{ cm}$$

- Bentang bersih pelat sumbu pendek :

$$S_n = l_x - \frac{b_w}{2} - \frac{b_w}{2}$$

$$S_n = 250 - \frac{25}{2} - \frac{20}{2}$$

$$S_n = 227,5 \text{ cm}$$

- Rasio antara bentang bersih sumbu panjang terhadap bentang bersih sumbu pendek,

$$\beta_n = \frac{L_n}{S_n} = \frac{645}{227,5} = 2,83 \geq 2,0 \text{ (One ways slab)}$$

- Perhitungan beban-beban pelat

- Beban mati sesuai dengan SNI 1727:2013

$$\begin{aligned} \text{Berat pelat (15 cm)} &= 0,15 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3 \\ &= 360 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat spesi (1 cm)} &= 1 \times 21 \text{ kg/m}^2 \\ &= 21 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat keramik (1 cm)} &= 1 \times 24 \text{ kg/m}^2 \\ &= 24 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Berat plafond +} = 18 \text{ kg/m}^2$$

Penggantung

$$\text{Pemipaan air} = 25 \text{ kg/m}^2$$

$$\text{Instalasi listrik, AC} = 40 \text{ kg/m}^2$$

$$q \text{ DL} = 488 \text{ kg/m}^2$$

- Beban hidup sesuai dengan SNI 1727:2013

$$\text{Beban hidup lantai} = 479 \text{ kg/m}^2$$

- Beban Ultimate

$$\begin{aligned} Q_u &= 1,2(q \text{ DL}) + 1,6(q \text{ LL}) \\ &= 1,2(488 \text{ kg/m}^2) + 1,6(479 \text{ kg/m}^2) \\ &= 1352 \text{ kg/m}^2 \end{aligned}$$

- Distribusi Momen pada Pelat type 2 (SNI 2847:2013 Pasal 8.3.3)

Momen positif	
Bentang ujung	
Ujung tak menerus tak terkekang .....	$w_u \ell_n^2 / 11$
Ujung tak menerus menyatu dengan tumpuan .....	$w_u \ell_n^2 / 14$
Bentang interior .....	$w_u \ell_n^2 / 16$
Momen negatif pada muka eksterior tumpuan interior pertama	
Dua bentang .....	$w_u \ell_n^2 / 9$
Lebih dari dua bentang .....	$w_u \ell_n^2 / 10$
Momen negatif pada muka lainnya tumpuan interior .....	$w_u \ell_n^2 / 11$
Momen negatif pada muka dari semua tumpuan untuk	
Slab dengan bentang tidak melebihi 3 m; dan balok dimana rasio jumlah	
kekakuan kolom terhadap kekakuan balok melebihi 8 pada masing-masing	
ujung bentang .....	$w_u \ell_n^2 / 12$
Momen negatif pada muka interior dari tumpuan eksterior untuk komponen struktur yang	
dibangun menyatu dengan tumpuan	
Dimana tumpuan adalah balok tepi ( <i>spandrel</i> ) .....	$w_u \ell_n^2 / 24$
Dimana tumpuan adalah kolom .....	$w_u \ell_n^2 / 16$
Geser pada komponen struktur ujung pada muka dari pendukung interior	
pertama .....	$1,15 w_u \ell_n / 2$
Geser pada muka dari semua tumpuan lainnya .....	$w_u \ell_n / 2$

**Gambar 4.34.** Momen pada Plat 1 arah (SNI 03-2847-213 Pasal 8.3.3)

$$\begin{aligned}
 \text{Momen positif} &= W_u \cdot S_n^2 / 11 \\
 &= (1352 \text{ kg/m}^2)(2,275 \text{ m})^2 / 11 \\
 &= 636,131 \text{ kg.m} \\
 &= 63613100 \text{ N.mm} \\
 \text{Momen negatif} &= W_u \cdot S_n^2 / 9 \\
 \text{muka eksterior} &= (1352 \text{ kg/m}^2)(2,275 \text{ m})^2 / 9 \\
 &= 777,494 \text{ kg.m} \\
 &= 77749400 \text{ N.mm} \\
 \text{Momen negatif} &= W_u \cdot S_n^2 / 11 \\
 \text{muka interior} &= (1352 \text{ kg/m}^2)(2,275 \text{ m})^2 / 11 \\
 &= 636,131 \text{ kg.m} \\
 &= 63613100 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

- Distribusi Momen pada Pelat type 2 (PBBI 1971)

$$\text{Momen Positif} = 1/8 \times q_u \times S_n^2$$

$$\begin{aligned}
 &= 1/8 \times (1352 \text{ kg/m}^2) \times (2,275 \text{ m})^2 \\
 &= 874,681 \text{ kg.m} \\
 &= 87468100 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Momen negatif} &= 1/24 \times q_u \times S_n^2 \\
 &= 1/24 \times (1352 \text{ kg/m}^2) \times (2,275 \text{ m})^2 \\
 &= 291,56 \text{ kg.m} \\
 &= 29156000 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

- Penentuan Tebal Efektif Pelat



**Gambar 4.35.** Potongan Memanjang Pelat

Diketahui,

Ø tulangan = 10 mm (asumsi)

Tebal selimut = 20 mm

beton

h = 150 mm

d = h – tebal selimut beton – ½ Ø  
 = (150 – 20 – ½ (10) ) mm  
 = 135 mm

- Tulangan Minimum dan Maksimum

Diketahui :

$f_y$  = 400 Mpa

$f_c'$  = 30 Mpa

$\beta$  = 0,8375

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_{\text{balance}} = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta}{f_y} + \frac{600}{600 + f_y}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{balance}} &= \frac{(0,85) \cdot (30) \cdot (0,8375)}{400} + \frac{600}{600 + 400} \\
 &= 0,653
 \end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_{\text{balance}}$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,75 \times 0,653 \\
 &= 0,0244 \\
 m &= \frac{f_y}{0,85 \cdot f'_c} \\
 &= \frac{400}{0,85 \cdot (30)} \\
 &= 15,69
 \end{aligned}$$

• Penulangan Pelat Momen Positif (Lapangan)

$$M_{\text{positif}} = 87468100 \text{ N.mm}$$

$$\phi = 0,9$$

$$d = 135 \text{ mm}$$

$$b = 1000 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= (M_{\text{positif}})/\phi \\
 &= (87468100 \text{ N.mm})/(0,9) \\
 &= 97186777,78 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_n &= (M_n)/(b \cdot d^2) \\
 &= (97186777,78 \text{ N.mm})/((1000)(135^2)) \\
 &= 5,33
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho &= \frac{1}{m} \cdot \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right] \\
 &= \frac{1}{15,69} \cdot \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot (15,69) \cdot (5,33)}{400}} \right] \\
 &= 0,0151
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Syarat, } \rho_{\min} &< \rho < \rho_{\max} \\
 0,0035 &< 0,0151 < 0,0244 \text{ (OK)}
 \end{aligned}$$

$$\text{Maka } \rho = 0,0151$$

$$\begin{aligned}
 A_s &= \rho \times b \times d \\
 &= (0,0151) \cdot (1000 \text{ mm}) \cdot (135 \text{ mm}) \\
 &= 2038,5 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\text{Syarat spasi antartulangan : } S_{\max} \leq 2h$$

$$\begin{aligned}
 S_{\max} &= 2 \cdot (150) \\
 &= 300 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\text{Dicoba tulangan } \emptyset = 12 \text{ mm}$$

$$S = \frac{0,25 \cdot \pi \cdot \emptyset^2 \cdot b}{A_s}$$



$$= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (12)^2 (1000)}{2038,5}$$

$$= 55,48 \text{ mm}$$

$$S = 55,48 \text{ mm} \leq 300 \text{ mm} \text{ (OK)}$$

Maka digunakan  $S = 50 \text{ mm}$

$$A_{s \text{ pakai}} = \frac{0,25 \cdot \pi \cdot \phi^2 \cdot b}{S_{\text{pakai}}}$$

$$= (0,25) \cdot (\pi) \cdot (12^2) \cdot (1000) / (50)$$

$$= 2261,95 \text{ mm}^2$$

$$\text{Syarat, } A_{s \text{ pakai}} > A_{s \text{ perlu}}$$

$$2261,95 \text{ mm}^2 > 2038,5 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

- Penulangan Pelat Momen Negatif (Tumpuan)

$$M_{\text{negatif}} = 29156000 \text{ N.mm}$$

$$\phi = 0,9$$

$$d = 135 \text{ mm}$$

$$b = 1000 \text{ mm}$$

$$M_n = (M_{\text{negatif}}) / \phi$$

$$= (29156000 \text{ N.mm}) / (0,9)$$

$$= 32395555,56 \text{ N.mm}$$

$$R_n = (M_n) / (b \cdot d^2)$$

$$= (32395555,56 \text{ N.mm}) / ((1000)(135^2))$$

$$= 1,77$$

$$\rho = \frac{1}{m} \cdot \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right]$$

$$= \frac{1}{15,69} \cdot \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot (15,69) \cdot (1,77)}{400}} \right]$$

$$= 0,00459$$

$$\text{Syarat, } \rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,0035 < 0,00459 < 0,0244 \text{ (OK)}$$

$$\text{Maka } \rho = 0,00459$$

$$A_s = \rho \times b \times d$$

$$= (0,00459) \cdot (1000 \text{ mm}) \cdot (135 \text{ mm})$$

$$= 619,65 \text{ mm}^2$$

$$\text{Syarat spasi antartulangan : } S_{\max} \leq 2h$$

$$S_{\max} = 2 \cdot (150)$$

$$= 300 \text{ mm}$$

Dicoba tulangan  $\emptyset = 12 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} S &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot \emptyset^2 \cdot b}{A_s} \\ &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (12)^2 (1000)}{619,65} \\ &= 182,81 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S = 182,81 \text{ mm} \leq 300 \text{ mm} \text{ (OK)}$$

Maka digunakan  $S = 150 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} A_{s \text{ pakai}} &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot \emptyset^2 \cdot b}{S_{\text{pakai}}} \\ &= (0,25) \cdot (\pi) \cdot (12^2) \cdot (1000) / (150) \\ &= 753,98 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Syarat, } A_{s \text{ pakai}} &> A_{s \text{ perlu}} \\ 753,98 \text{ mm}^2 &> 619,65 \text{ mm}^2 \text{ (OK)} \end{aligned}$$

- Tulangan Susut

Menurut **SNI 03-2847-2013 Pasal 9.12.2.1** : Untuk tulangan mutu 400 Mpa menggunakan rasio tulangan minimum ( $\rho_{\min}$ ) = 0,0018

$$\begin{aligned} A_s \text{ susut} &= \rho_{\text{susut}} \times b \times \text{tebal plat} \\ &= 0,0018 \times 1000 \text{ mm} \times 150 \text{ mm} \\ &= 270 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Syarat : } S_{\max} \leq 5h \text{ tau } S_{\max} \leq 450 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} S_{\max} &= 5(150) \\ &= 750 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dipakai tulangan  $\emptyset 8$

$$\begin{aligned} S &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot \emptyset^2 \cdot b}{A_s} \\ &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (8)^2 (1000)}{270} \\ &= 186,163 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Syarat } S = 186,163 \text{ mm} < 450 \text{ mm} \text{ (OK)}$$

Maka dicoba  $S = 150 \text{ mm}$

Dipakai Tulangan  $\emptyset 8 - 150$ .

$$A_{s \text{ pakai}} = \frac{0,25 \cdot \pi \cdot \emptyset^2 \cdot b}{S_{\text{pakai}}}$$

$$= (0,25).(\pi).(8^2).(1000)/(150)$$

$$= 335,103 \text{ mm}^2$$

Syarat,  $A_s \text{ pakai} > A_s \text{ perlu}$

$$335,103 \text{ mm}^2 > 270 \text{ mm}^2 \text{ (OK)}$$

Tulangan tersebut dipasang pada lapis atas dan bawah, masing-masing pada ujung kiri dan kanan tumpuan, baik pada arah bentang  $L_X$  maupun  $L_Y$ .

Lebar lajur pemasangan tulangan susut, diukur dari muka bagian dalam balok-balok penumpuan ke arah lapangan pelat, masing-masing sebesar  $0,25L_n$ , yaitu :

- Ke arah bentang panjang  
 $= 0,25 \times (645 \text{ cm})$   
 $= 161,25 \text{ cm}$
- Ke arah bentang pendek  
 $= 0,25 \times (227,5 \text{ cm})$   
 $= 56,875 \text{ cm}$

**Tabel 4.15.** Rekapitulasi Penulangan Plat Type 2 As A-B 6-5

No	Nama	Arah	Tul.Utama	Tul.Susut
2	Plat Type 2	Tumpuan	Ø12-50	Ø8-150
		Lapangan	Ø12-150	

### 4.3.1.3. Rekapitulasi Penulangan Pelat Lantai

**Tabel 4.16.** Rekapitulasi Tulangan Utama Pelat

Type	Ly (m)	Lx (m)	Ly/Lx	Arah	KESIMPULAN			
					Lap.X	Lap.Y	Tump.X	Tump.Y
1	5,00	3,69	1,355	Dua	Ø10-100	Ø10-200	Ø10-50	Ø10-65
2	6,70	1,50	4,467	Satu	Ø12-50		Ø12-150	
3	6,70	2,50	2,680	Satu	Ø12-50		Ø12-150	
4	5,00	2,04	2,451	Satu	Ø12-50		Ø12-150	
5	5,00	1,50	3,333	Satu	Ø12-50		Ø12-150	
6	5,00	2,50	2,000	Dua	Ø10-100	Ø10-200	Ø10-50	Ø10-65

**Tabel 4.17.** Rekapitulasi Tulangan Susut Pelat

Type	As susut perlu (mm <sup>2</sup> )		S susut perlu (mm)		Syarat : S max ≤ 5h		S susut pakai (mm)		As Susut Pakai (mm <sup>2</sup> )		As pakai > As perlu		Kesimpulan	
					Atau Smax ≤ 450 mm									
	Tum p. X	Tum p. Y	Tum p. X	Tum p. Y	Tum p. X	Tum p. Y	Tum p. X	Tum p. Y	Tump . X	Tump . Y	Tum p. X	Tum p. Y	Tum p. X	Tum p. Y
1	270	270	186,63	186,63	OKE	OKE	150	150	335,103	335,103	OKE	OKE	Ø8-150	Ø8-150
2	270	-	186,63	-	OKE	-	150	-	335,103	-	OKE	-	Ø8-150	-

Type	As susut perlu (mm <sup>2</sup> )		S susut perlu (mm)		Syarat : $S_{\max} \leq 5h$		S susut pakai (mm)		As Susut Pakai (mm <sup>2</sup> )		As pakai > As perlu		Kesimpulan	
					Atau $S_{\max} \leq 450 \text{ mm}$									
	Tump p. X	Tump p. Y	Tump p. X	Tump p. Y	Tump p. X	Tump p. Y	Tump p. X	Tump p. Y	Tump . X	Tump . Y	Tump p. X	Tump p. Y	Tump p. X	Tump p. Y
3	270	-	186,63	-	OKE	-	150	-	335,103	-	OKE	-	Ø8-150	-
4	270	-	186,63	-	OKE	-	150	-	335,103	-	OKE	-	Ø8-150	-
5	270	-	186,63	-	OKE	-	150	-	335,103	-	OKE	-	Ø8-150	-
6	270	270	186,63	186,63	OKE	OKE	150	150	335,103	335,103	OKE	OKE	Ø8-150	Ø8-150

#### 4.3.2. Perencanaan Tangga

Perencanaan struktur tangga dapat mengambil beberapa macam alternatif, baik itu konstruksi maupun perletakkannya.

Dalam perencanaan ini tangga diasumsikan sebagai frame 2 dimensi, yang kemudian dianalisa untuk menentukan gaya-gaya dalamnya dengan perencanaan struktur statis tak tentu. Perletakan dapat diasumsikan sebagai sendi – sendi, sendi – jepit, sendi – rol.

Tangga pada bangunan ruko 4 lantai di Suarabaya ini akan dimodelkan sebagai frame statis tak tentu (penyelesaian dengan cara cross) dengan kondisi perletakan berupa sendi (diletakkan di ujung bordes) dan jepit diletakkan pada ujung sloof atau balok induk).

Berikut akan dibahas perencanaan dimensi tangga tipe 1 As (A-B; 6-7). Adapun data-data dan perhitungan tangga dan bordes menurut metode SRPMM adalah sebagai berikut :

❖ Data-Data Perencanaan :

Tipe tangga	: Tipe 1
Lebar tangga	: 100 cm
Panjang datar total	: 564 cm
Panjang datar 1	: 268 cm
Panjang datar 2	: 296 cm
Panjang datar 3	: 279 cm
Tinggi tangga	: 450 cm
Tinggi plat bordes 1	: 124,2 cm
Tinggi palt bordes 2	: 268,1 cm
Tebal plat tangga	: 12 cm
Tebal plat bordes	: 12 cm
Lebar injakan (i)	: 28 cm
Tinggi tanjakan (t)	: 18 cm

#### 4.3.2.1. Pembebanan Tangga

- ❖ Berat pelat anak tangga
  - Beban mati (DL) sesuai dengan SNI 1727:2013
    - Berat pelat (12 cm)  $= 0,12 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3$   
 $= 288 \text{ kg/m}^2$
    - Berat anak tangga  $= 0,1514 \times 2400 \text{ kg/m}^3$   
 $= 363,63 \text{ kg/m}^2$
    - Berat keramik (1 cm)  $= 1 \times 24 \text{ kg/m}^2$   
 $= 24 \text{ kg/m}^2$
    - Berat spesi (1 cm)  $= 1 \times 21 \text{ kg/m}^2$   
 $= 21 \text{ kg/m}^2$
    - Berat pegangan  $= 10 \text{ kg/m}^2$
    - $q \text{ DL} = 706,63 \text{ kg/m}^2$
  - Beban hidup (LL) sesuai dengan SNI 1727:2013
    - Beban hidup tangga  $= 479 \text{ kg/m}^2$
- ❖ Berat pelat bordes
  - Beban mati (DL) sesuai dengan SNI 1727:2013
    - Berat pelat (12 cm)  $= 0,12 \text{ m} \times 2400 \text{ kg/m}^3$   
 $= 288 \text{ kg/m}^2$
    - Berat anak tangga  $= 0,1514 \times 2400 \text{ kg/m}^3$   
 $= 363,63 \text{ kg/m}^2$
    - Berat keramik (1 cm)  $= 1 \times 24 \text{ kg/m}^2$   
 $= 24 \text{ kg/m}^2$
    - Berat spesi (1 cm)  $= 1 \times 21 \text{ kg/m}^2$   
 $= 21 \text{ kg/m}^2$
    - Berat pegangan  $= 10 \text{ kg/m}^2$
    - $q \text{ DL} = 706,63 \text{ kg/m}^2$
  - Beban hidup (LL) sesuai dengan SNI 1727:2013
    - Beban hidup tangga  $= 479 \text{ kg/m}^2$
- ❖ Beban ultimate
  - Untuk tangga
  - $U = 1,2\text{DL} + 1,6\text{LL}$   
 $= (1,2 \times 706,63) + (1,6 \times 479)$   
 $= 1614,356 \text{ kg/m}^2$

Untuk bordes

$$\begin{aligned}
 U &= 1,2DL + 1,6LL \\
 &= (1,2 \times 706,63) + (1,6 \times 479) \\
 &= 1614,356 \text{ kg/m}^2
 \end{aligned}$$

❖ **Beban merata (Q)**

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{tangga}} &= 1614,356 \text{ kg/m}^2 \times \text{Lebar tangga} \\
 &= 1614,356 \text{ kg/m}^2 \times 1 \text{ meter} \\
 &= 1614,356 \text{ kg/m} \\
 Q_{\text{bordes}} &= 1614,356 \text{ kg/m}^2 \times \text{Lebar bordes} \\
 &= 1614,356 \text{ kg/m}^2 \times 1 \text{ meter} \\
 &= 1614,356 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

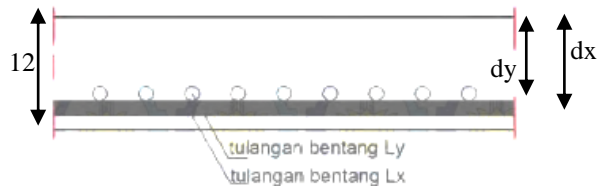
**4.3.2.2. Pembebanan Tangga**

Dalam contoh perhitungan penulangan pelat tangga ini, tipe tangga yang digunakan adalah tangga penghubung lantai dasar dengan lantai 1. Adapun data-data, gambar denah tipe pelat dan perhitungan penulangan pelat tangga adalah sebagai berikut :

Adapun data perencanaan sebagai berikut :

Tipe plat	: Plat tangga
As plat	: A-B; 6-7
Mutu beton	: 30 Mpa
Mutu baja	: 400 Mpa
$\beta$	: 0,8375
Tebal plat	: 12 cm
Tebal selimut beton	: 20 cm
Diameter tulangan lentur	: 13 mm
Diameter tulangan susut	: 10 mm
BJ beton	: 2400 kg/m <sup>3</sup>

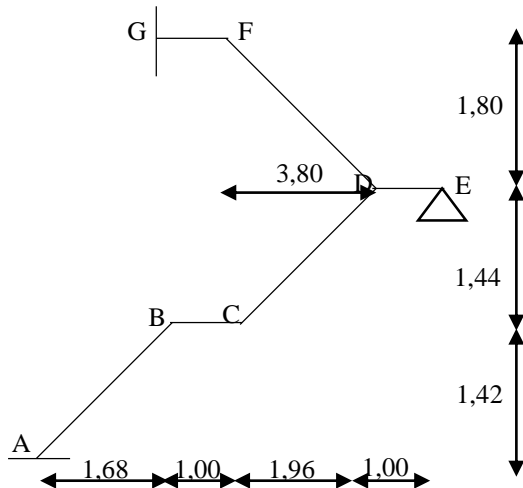




**Gambar 4.36.** Potongan Pelat Tangga

$$\begin{aligned}
 dx &= h - \text{tebal selimut beton} - \frac{1}{2} D \\
 &= (120 - 20 - \frac{1}{2} (13)) \text{ mm} \\
 &= 93,5 \text{ mm} \\
 dy &= h - \text{tebal selimut beton} - D - \frac{1}{2} D \\
 &= (120 - 20 - 13 - \frac{1}{2} (13)) \text{ mm} \\
 &= 80,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

#### 4.3.2.3. Mekanika Tangga



**Gambar 4.37.** Pemodelan Tangga

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang miring tangga AB} &= \sqrt{(1,68)^2 + (1,42)^2} \\
 &= 2,199 \text{ meter}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang miring tangga CD} &= \sqrt{(1,96)^2 + (1,44)^2} \\
 &= 2,432 \text{ meter} \\
 \text{Panjang miring tangga DF} &= \sqrt{(2,80)^2 + (1,80)^2} \\
 &= 3,329 \text{ meter}
 \end{aligned}$$

Angka kekakuan :

- Perletakan jepit-jepit,  $K = (4EI)/L$
- Perletakan jepit-sendiri,  $K = (3EI)/L$

Faktor distribusi ( $\mu$ )

$$\begin{aligned}
 \mu_{BA} : \mu_{BC} &= (4EI/2,199) : (4EI/1) \\
 &= 1,819EI : 4EI
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \mu_{BA} &= (1,819EI)/(5,819EI) \\
 &= 0,313
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \mu_{BC} &= (4EI)/(5,819EI) \\
 &= 0,687
 \end{aligned}$$

Kontrol :  $\mu_{BA} + \mu_{BC} = 1,0$  (**OK**)

$$\begin{aligned}
 \mu_{CB} : \mu_{CD} &= (4EI/1) : (4EI/2,432) \\
 &= 4EI : 1,644EI
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \mu_{CB} &= (4EI)/(5,644EI) \\
 &= 0,709
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \mu_{CD} &= (1,644EI)/(5,644EI) \\
 &= 0,291
 \end{aligned}$$

Kontrol :  $\mu_{CB} + \mu_{CD} = 1,0$  (**OK**)

$$\begin{aligned}
 \mu_{DC} : \mu_{DE} : \mu_{DF} &= (4EI/2,432) : (3EI/1) : (4EI/3,329) \\
 &= 1,644EI : 3EI : 1,201EI
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \mu_{DC} &= (1,644EI)/(5,845EI) \\
 &= 0,282
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \mu_{DE} &= (3EI)/(5,845EI) \\
 &= 0,513
 \end{aligned}$$










$$\begin{aligned}
 \mu_{DF} &= (1,201EI)/(5,845EI) \\
 &= 0,205
 \end{aligned}$$

Kontrol :  $\mu_{DC} + \mu_{DE} + \mu_{DF} = 1,0$  (**OK**)

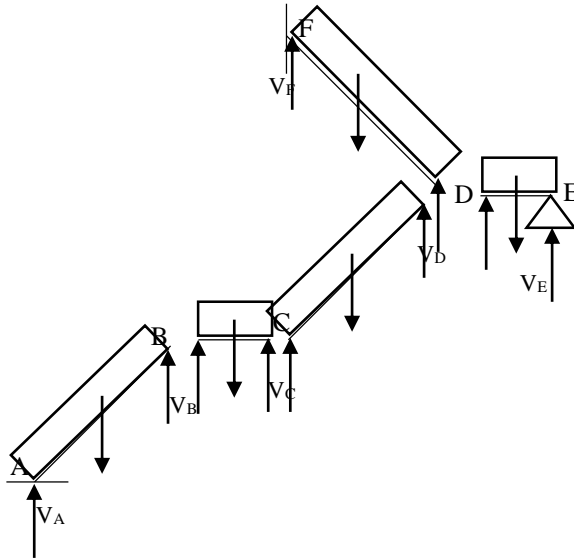
Momen Primair

$$\begin{aligned}
 \text{MF BA} &= -1/12 \times q \times L^2 \\
 &= -1/12 \times (1614,356) \times (2,199^2) \\
 &= -650,532 \text{ kg.m} \\
 \text{MF BC} &= +1/12 \times q \times L^2 \\
 &= +1/12 \times (1614,356) \times (1,00^2) \\
 &= +134,530 \text{ kg.m} \\
 \text{MF CB} &= - \text{MF BC} \\
 &= -134,530 \text{ kg.m} \\
 \text{MF CD} &= +1/12 \times q \times L^2 \\
 &= +1/12 \times (1614,356) \times (2,432^2) \\
 &= +795,692 \text{ kg.m} \\
 \text{MF DC} &= -\text{MF CD} \\
 &= -795,692 \text{ kg.m} \\
 \text{MF DE} &= +1/8 \times q \times L^2 \\
 &= +1/8 \times (1614,356) \times (1,00^2) \\
 &= +201,795 \text{ kg.m} \\
 \text{MF DF} &= +1/12 \times q \times L^2 \\
 &= +1/12 \times (1614,356) \times (3,329^2) \\
 &= +1490,89 \text{ kg.m}
 \end{aligned}$$

**Tabel 4.18.** Tabel Cross Plat Tangga Type 1

Titik Batang	A	B		C		D			F
	AB	BA	BC	CB	CD	DC	DE	DF	FD
FD	0	-0,313	-0,687	-0,709	-0,291	-0,282	-0,531	-0,205	0
MF	650,532	-650,532	+134,530	-134,530	+795,692	-795,692	+201,795	+1490,89	-1490,89
MD	0	161,509	354,493	-468,764	-192,398	-252,952	-476,303	-183,884	0
MI	80,754	0	-234,382	177,247	-126,476	-96,199		0	-91,942
MD	0	73,362	161,020	-35,996	-14,774	27,128	51,082	19,721	0
MI	36,681	0	-17,998	80,510	13,564	-7,387		0	9,860
MD	0	5,633	12,365	-66,699	-27,376	2,083	3,923	1,514	0
MI	2,817	0	-33,349	6,182	1,042	-13,688		0	0,757
MD	0	10,438	22,911	-5,122	-2,102	3,860	7,268	2,806	0
MI	5,219	0	-2,561	11,455	1,930	-1,051		0	1,403
MD	0	0,802	1,759	-9,490	-3,895	0,296	0,558	0,215	0
MI	0,401	0	-4,745	0,880	0,148	-1,948		0	0,108
MD	0	1,485	3,260	-0,729	-0,299	0,549	1,034	0,399	0
MI	0,743	0	-0,364	1,630	0,275	-0,150		0	0,200
MD	0	0,114	0,250	-1,350	-0,554	0,042	0,079	0,031	0
MI	0,057	0	-0,675	0,125	0,021	-0,0277		0	0,015
Σ	777,309	-396,978	396,926	-444,522	444,793	-1135,33	-210,417	1331,75	-1570,46
Gambar Momen									

*Free Body Diagram :*



Batang AB

$\Sigma M_A = 0$ , misal  $V_B \uparrow$

$$M_{AB} + \frac{1}{2} \cdot q \cdot L^2 - V_B \cdot L = 0$$

$$777,309 \text{ kg.m} + \frac{1}{2} \cdot (1614,356) \cdot (2,199)^2 - V_B \cdot (2,199) = 0$$

$$V_B = (777,309 + 3903,190744) / (2,199)$$

$$V_B = 2128,467 \text{ kg (ke atas)}$$

$$V_A = (q \cdot L) - V_B$$

$$V_A = (1614,356) \cdot (2,199) - 2128,467$$

$$V_A = 1421,502 \text{ kg (ke atas)}$$

Batang BC

$\Sigma M_B = 0$ , misal  $V_C \uparrow$

$$M_{BC} + \frac{1}{2} \cdot q \cdot L^2 - V_C \cdot L = 0$$

$$396,926 \text{ kg.m} + \frac{1}{2} \cdot (1614,356) \cdot (1)^2 - V_C \cdot (1) = 0$$

$$V_C = (396,926 + 807,178) / (1)$$

$$V_C = 1204,104 \text{ kg (ke atas)}$$

$$V_B = (q \cdot L) - V_C$$

$$V_B = (1614,356).(1)-1204,104$$

$$V_B = 410,252 \text{ kg (ke atas)}$$

Batang CD

$$\Sigma M_C = 0, \text{ misal } V_D \uparrow$$

$$M_{CD} + \frac{1}{2} . q . L^2 - V_D . L = 0$$

$$444,793 \text{ kg.m} + \frac{1}{2} . (1614,356).(2,432)^2 - V_D.(2,432)=0$$

$$V_D = (444,793+4774,1543)/(2,432)$$

$$V_D = 2145,949 \text{ kg (ke atas)}$$

$$V_C = (q.L)-V_D$$

$$V_C = (1614,356).(2,432)-2145,949$$

$$V_C = 1780,165 \text{ kg (ke atas)}$$

Batang DE

$$\Sigma M_D = 0, \text{ misal } V_E \uparrow$$

$$-M_{DE} + \frac{1}{2} . q . L^2 - V_E . L = 0$$

$$-210,417 \text{ kg.m} + \frac{1}{2} . (1614,356).(1)^2 - V_E.(1,0)=0$$

$$V_E = (-201,417+807,178)/(1)$$

$$V_E = 605,716 \text{ kg (ke atas)}$$

$$V_D = (q.L)-V_E$$

$$V_D = (1614,356).(1,0)-605,716$$

$$V_D = 1008,64 \text{ kg (ke atas)}$$

Batang DF

$$\Sigma M_D = 0, \text{ misal } V_F \uparrow$$

$$M_{DF} - \frac{1}{2} . q . L^2 + V_F . L = 0$$

$$210,417 \text{ kg.m} - \frac{1}{2} . (1614,356).(3,329)^2 + V_F.(3,329)=0$$

$$V_F = (4472,671-210,417)/(3,329)$$

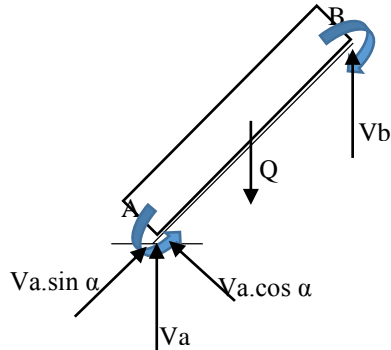
$$V_F = 1280,341 \text{ kg (ke atas)}$$

$$V_D = (q.L)-V_F$$

$$V_D = (1614,356).(3,329)-1280,341$$

$$V_D = 4093,850 \text{ kg (ke atas)}$$

Mencari M max  
Batang AB



$$\tan \alpha = (\text{tinggi tangga})/(\text{panjang datar tangga}) \\ = (2,68)/(1,68)$$

$$\alpha = 27,92^\circ$$

$$N_{AB} = -V_A \cdot \sin \alpha \\ = -1421,502 \cdot \sin(27,92) \\ = -661,388 \text{ kg}$$

$$D_{AB} = V_A \cdot \cos \alpha \\ = 1421,502 \cdot \cos(27,92) \\ = 1248,090 \text{ kg}$$

$$D_{BA} = V_B \cdot \cos \alpha \\ = 2128,467 \cdot \cos(27,92) \\ = 1880,718 \text{ kg}$$

$$D_X = 0 \text{ (titik A dianggap 0)}$$

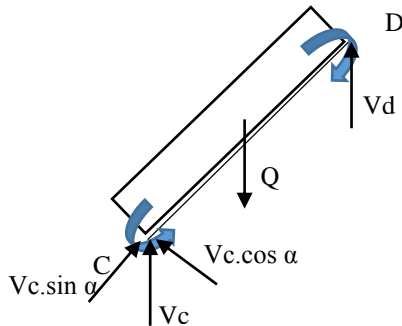
$$V_B \cdot \cos \alpha - q \cdot X = 0$$

$$2128,467 \cdot \cos(27,92) - 1614,356 \text{ kg/m} \cdot X = 0$$

$$X = (1880,718)/1614,356 \\ = 1,164 \text{ (dari titik B)}$$

$$M_{\max} = V_B \cdot \cos \alpha \cdot X - \frac{1}{2} \cdot q \cdot X^2 + M_{AB} - M_{BA} \\ = (1880,71)(1,164) - (\frac{1}{2} \cdot 1614,35 \cdot 1,164^2) + 777,309 - 396,978 \\ = 1475,845 \text{ kg.m}$$

## Batang CD



$$\begin{aligned}\tan \alpha &= (\text{tinggi tangga})/(\text{panjang datar tangga}) \\ &= (1,44)/(2,96)\end{aligned}$$

$$\alpha = 25,94^\circ$$

$$\begin{aligned}N_{CD} &= -V_C \cdot \sin \alpha \\ &= -1780,165 \cdot \sin(25,94) \\ &= -778,697 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}D_{CD} &= V_C \cdot \cos \alpha \\ &= 1789,165 \cdot \cos(25,94) \\ &= 1608,774 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}D_{DC} &= V_D \cdot \cos \alpha \\ &= 2145,949 \cdot \cos(25,94) \\ &= 1929,750 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$D_X = 0 \text{ (titik C dianggap 0)}$$

$$V_D \cdot \cos \alpha - q \cdot X = 0$$

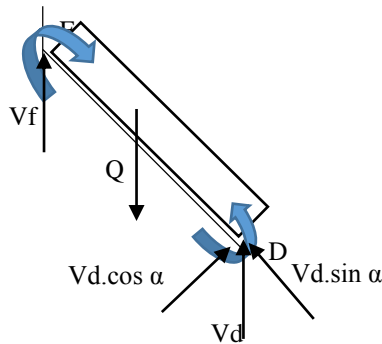
$$2145,949 \cdot \cos(25,94) - 1614,356 \text{ kg/m} \cdot X = 0$$

$$\begin{aligned}X &= (1949,750)/1614,356 \\ &= 1,21 \text{ (dari titik D)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_{\max} &= V_D \cdot \cos \alpha \cdot X - \frac{1}{2} \cdot q \cdot X^2 + M_{CD} - M_{DC} \\ &= (1929,75)(1,21) - (\frac{1}{2} \cdot 1614,35 \cdot 1,21^2) + 444,793 - 1135,33 \\ &= 403,348 \text{ kg.m}\end{aligned}$$



## Batang DF



$$\begin{aligned}\tan \alpha &= (\text{tinggi tangga})/(\text{panjang datar tangga}) \\ &= (1,80)/(3,80)\end{aligned}$$

$$\alpha = 25,35^\circ$$

$$\begin{aligned}N_{DF} &= -V_D \cdot \sin \alpha \\ &= -4093,85 \cdot \sin(25,35) \\ &= -1752,768 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}D_{DF} &= V_D \cdot \cos \alpha \\ &= 4093,85 \cdot \cos(25,35) \\ &= 3699,65 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}D_{FD} &= V_F \cdot \cos \alpha \\ &= 1281,341 \cdot \cos(25,35) \\ &= 1157,958 \text{ kg}\end{aligned}$$

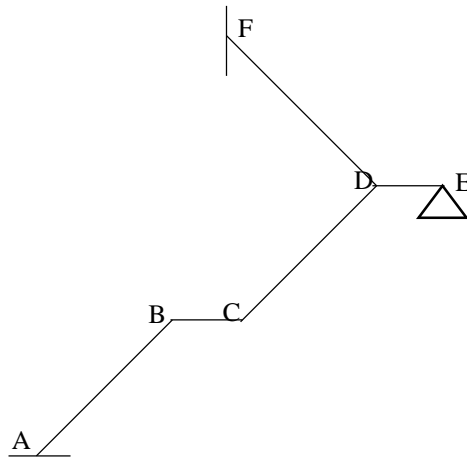
$$D_X = 0 \text{ (titik F dianggap 0)}$$

$$V_D \cdot \cos \alpha - q \cdot X = 0$$

$$4093,85 \cdot \cos(25,35) - 1614,356 \text{ kg/m} \cdot X = 0$$

$$\begin{aligned}X &= (3699,65)/1614,356 \\ &= 2,27 \text{ (dari titik D)}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_{\max} &= V_D \cdot \cos \alpha \cdot X - \frac{1}{2} \cdot q \cdot X^2 + M_{DF} - M_{FD} \\ &= (3699,65)(2,27) - (\frac{1}{2} \cdot 1614,35 \cdot 2,27^2) + 1331,75 - 1570,46 \\ &= 4000,188 \text{ kg.m}\end{aligned}$$



Sehingga,

Momen tumpuan A	= 777,309 kg.m
Momen tumpuan B	= 444,522 kg.m
Momen tumpuan C	= 1135,327 kg.m
Momen tumpuan D	= 1331,750 kg.m
Momen tumpuan F	= 1570,460 kg.m
Momen max tangga AB	= 1475,845 kg.m
Momen max tangga CD	= 403,348 kg.m
Momen max tangga DF	= 4000,188 kg.m
Momen max bordes BC	= 210,417 kg.m
Momen max bordes DE	= 210,417 kg.m

Sebagai pembandingan dengan bantuan program SAP 2000 didapatkan momen sebesar kg.m sehingga untuk perhitungan tulangan memakai momen perhitungan cross.

#### 4.3.2.4. Penulangan Tangga

- Tulangan Minimum dan Maksimum  
Diketahui :

$$f_y = 400 \text{ Mpa}$$

$$f_c' = 30 \text{ Mpa}$$

$$\beta = 0,8375$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_{\text{balance}} = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta}{f_y} + \frac{600}{600 + f_y}$$

$$\rho_{\text{balance}} = \frac{(0,85) \cdot (30) \cdot (0,8375)}{400} + \frac{600}{600 + 400}$$

$$= 0,653$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_{\text{balance}}$$

$$= 0,75 \times 0,653$$

$$= 0,0244$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'}$$

$$= \frac{400}{0,85 \cdot (30)}$$

$$= 15,69$$

- Penulangan Pelat Arah Y

$$M_U = 40001880 \text{ N.mm}$$

$$\phi = 0,8$$

$$d_x = 93,5 \text{ mm}$$

$$b = 1000 \text{ mm}$$

$$M_n = (M_U) / \phi$$

$$= (40001880 \text{ N.mm}) / (0,8)$$

$$= 50002350 \text{ N.mm}$$

$$R_n = (M_n) / (b \cdot d_x^2)$$

$$= (50002350 \text{ N.mm}) / ((1000)(93,5^2))$$

$$= 5,72$$

$$\rho = \frac{1}{m} \cdot \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right]$$

$$= \frac{1}{15,69} \cdot \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot (15,69) \cdot (5,72)}{400}} \right]$$

$$= 0,0164$$

Syarat,  $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$   
 $0,0035 < 0,0164 < 0,0244$  (**OK**)

Maka  $\rho = 0,0164$

$$A_s = \rho \times b \times d_x$$

$$= (0,0164) \cdot (1000 \text{ mm}) \cdot (93,5 \text{ mm})$$

$$= 1533,4 \text{ mm}^2$$

Syarat spasi antartulangan :  $S_{\max} \leq 2h$

$$S_{\max} = 2 \cdot (120)$$

$$= 240 \text{ mm}$$

Dicoba tulangan  $\emptyset = 12 \text{ mm}$

$$S = \frac{0,25 \cdot \pi \cdot D^2 \cdot b}{A_s}$$

$$= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (12)^2 \cdot (1000)}{1533,4}$$

$$= 73,75 \text{ mm}$$

$S = 73,75 \text{ mm} \leq 240 \text{ mm}$  (**OK**)

Maka digunakan  $S = 70 \text{ mm}$

$$A_{s \text{ pakai}} = \frac{0,25 \cdot \pi \cdot D^2 \cdot b}{S_{\text{pakai}}}$$

$$= (0,25) \cdot (\pi) \cdot (12^2) \cdot (1000) / (70)$$

$$= 1615,67 \text{ mm}^2$$

Syarat,  $A_{s \text{ pakai}} > A_{s \text{ perlu}}$   
 $1615,67 \text{ mm}^2 > 1533,4 \text{ mm}^2$  (**OK**)

- Tulangan Susut Tangga (Arah X)

Menurut **SNI 03-2847-2013 Pasal 9.12.2.1** : Untuk tulangan mutu 400 Mpa menggunakan rasio tulangan minimum ( $\rho_{\min}$ ) = 0,0018

$$A_s \text{ susut} = \rho_{\text{susut}} \times b \times \text{tebal plat}$$

$$= 0,0018 \times 1000 \text{ mm} \times 120 \text{ mm}$$

$$= 216 \text{ mm}^2$$

Syarat :  $S_{\max} \leq 5h$  tau  $S_{\max} \leq 450 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} S_{\max} &= 5(120) \\ &= 600 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dipakai tulangan Ø10

$$\begin{aligned} S &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot \phi^2 \cdot b}{A_s} \\ &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (10)^2 (1000)}{216} \\ &= 363,61 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat  $S = 363,61 \text{ mm} < 450 \text{ mm}$  (**OK**)

Maka dicoba  $S=350 \text{ mm}$

Dipakai Tulangan Ø10 – 350.

$$\begin{aligned} A_{s \text{ pakai}} &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot \phi^2 \cdot b}{S_{\text{pakai}}} \\ &= (0,25) \cdot (\pi) \cdot (10^2) \cdot (1000) / (350) \\ &= 224,40 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat,  $A_{s \text{ pakai}} > A_{s \text{ perlu}}$   
 $224,40 \text{ mm}^2 > 216 \text{ mm}^2$  (**OK**)

Sehingga digunakan tulangan X Ø10-350.

#### 4.3.2.5. Penulangan Bordes

- Tulangan Minimum dan Maksimum

Diketahui :

$$f_y = 400 \text{ Mpa}$$

$$f_c' = 30 \text{ Mpa}$$

$$\beta = 0,8375$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_{\text{balance}} = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta}{f_y} + \frac{600}{600 + f_y}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{balance}} &= \frac{(0,85) \cdot (30) \cdot (0,8375)}{400} + \frac{600}{600 + 400} \\ &= 0,653 \end{aligned}$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_{\text{balance}}$$

$$= 0,75 \times 0,653$$

$$= 0,0244$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'}$$

$$= \frac{400}{0,85 \cdot (30)}$$

$$= 15,69$$

• Penulangan Pelat Arah Y

$$M_U = 11353270 \text{ N.mm}$$

$$\phi = 0,8$$

$$d_x = 93,5 \text{ mm}$$

$$b = 1000 \text{ mm}$$

$$M_n = (M_U)/\phi$$

$$= (11353270 \text{ N.mm})/(0,8)$$

$$= 14191587,5 \text{ N.mm}$$

$$R_n = (M_n)/(b \cdot d_x^2)$$

$$= (14191587,5 \text{ N.mm})/((1000)(93,5^2))$$

$$= 1,62 \text{ N/mm}^2$$

$$\rho = \frac{1}{m} \cdot \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right]$$

$$= \frac{1}{15,69} \cdot \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot (15,69) \cdot (1,62)}{400}} \right]$$

$$= 0,0042$$

Syarat,  $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$

$$0,0035 < 0,0042 < 0,0244 \text{ (OK)}$$

Maka  $\rho = 0,0042$

$$A_s = \rho \times b \times d_x$$

$$= (0,0042) \cdot (1000 \text{ mm}) \cdot (93,5 \text{ mm})$$

$$= 392,7 \text{ mm}^2$$

Syarat spasi antartulangan :  $S_{\max} \leq 2h$

$$S_{\max} = 2 \cdot (120)$$

$$= 240 \text{ mm}$$

Dicoba tulangan  $\emptyset = 10 \text{ mm}$

$$S = \frac{A_s}{\frac{0,25 \cdot \pi \cdot D^2 \cdot b}{A_s}}$$

$$= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (10)^2 \cdot (1000)}{392,7}$$

$$= 199,99 \text{ mm}$$

$$S = 199,99 \text{ mm} < 240 \text{ mm (OK)}$$

Maka digunakan  $S = 150 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} A_{s \text{ pakai}} &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot D^2 \cdot b}{S_{\text{pakai}}} \\ &= (0,25) \cdot (\pi) \cdot (10^2) \cdot (1000) / (150) \\ &= 523,987 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat,  $A_{s \text{ pakai}} > A_{s \text{ perlu}}$   
 $523,987 \text{ mm}^2 > 392,7 \text{ mm}^2$  **(OK)**

Sehingga digunakan tulangan  $\emptyset 10$ -150

- Tulangan Susut Bordes (Arah X)  
 Menurut **SNI 03-2847-2013 Pasal 9.12.2.1** : Untuk tulangan mutu 400 Mpa menggunakan rasio tulangan minimum ( $\rho_{\min}$ ) = 0,0018

$$\begin{aligned} A_{s \text{ susut}} &= \rho_{\text{susut}} \times b \times \text{tebal plat} \\ &= 0,0018 \times 1000 \text{ mm} \times 120 \text{ mm} \\ &= 216 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat :  $S_{\max} \leq 5h$  tau  $S_{\max} \leq 450 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} S_{\max} &= 5(120) \\ &= 600 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dipakai tulangan  $\emptyset 10$

$$\begin{aligned} S &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot \emptyset^2 \cdot b}{A_s} \\ &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot (10)^2 \cdot (1000)}{216} \\ &= 363,61 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat  $S = 363,61 \text{ mm} < 450 \text{ mm}$  **(OK)**

Maka dicoba  $S=300 \text{ mm}$

Dipakai Tulangan  $\emptyset 10 - 300$ .

$$\begin{aligned} A_{s \text{ pakai}} &= \frac{0,25 \cdot \pi \cdot \emptyset^2 \cdot b}{S_{\text{pakai}}} \\ &= (0,25) \cdot (\pi) \cdot (10^2) \cdot (1000) / (300) \\ &= 261,799 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Syarat,  $A_{s \text{ pakai}} > A_{s \text{ perlu}}$   
 $261,799 \text{ mm}^2 > 216 \text{ mm}^2$  **(OK)**

Sehingga digunakan tulangan X  $\emptyset 10$ -300.

#### 4.3.3. Perencanaan Balok Bordes

Berikut akan dibahas penulangan **balok bordes BB (20/35)** elevasi +3,00. Adapun data-data, gambar denah pembalokan, hasil output SAP 2000, ketentuan perhitungan penulangan balok dengan metode SRPMM, perhitungan dan hasil akhir gambar penampang balok sebagai berikut :

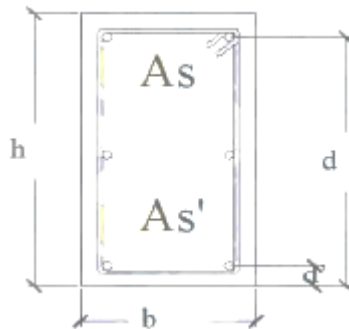
❖ Data-data penulangan balok :

Tipe balok	: BB (20/35)
Frame Balok	: 68
Bentang balok	: 1000 mm
Dimensi balok (b)	: 200 mm
Dimensi balok (h)	: 350 mm
Kuat tekan beton ( $f_c'$ )	: 30 Mpa
Kuat leleh tulangan lentur ( $f_y$ )	: 400 Mpa
Kuat leleh tulangan geser ( $f_{yv}$ )	: 320 Mpa
Kuat leleh tulangan punter ( $f_{yt}$ )	: 320 Mpa
Tebal selimut beton	: 40 mm
Diameter tulangan lentur (D)	: 19 mm
Diameter tulangan geser ( $\emptyset$ )	: 10 mm
Diameter tulangan puntir ( $\emptyset$ )	: 13 mm
Jarak spasi tulangan sejajar	: 25 mm
<b>(SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.1)</b>	
Jarak spasi tulangan antarlapis	: 25 mm
<b>(SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.2)</b>	
Tebal selimut beton ( $t_{decking}$ )	: 40 mm
<b>(SNI 03-2847-2013 pasal 7.7.1)</b>	
Faktor $\beta_1$	: 0,8375
<b>(SNI 03-2847-2013 pasal 10.2.7.(1))</b>	
Faktor reduksi kekuatan lentur	: 0,8
<b>(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(1))</b>	
Faktor reduksi kekuatan geser	: 0,75
<b>(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(3))</b>	
Faktor reduksi kekuatan puntir	: 0,75
<b>(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(3))</b>	



Maka tinggi efektif balok :

$$\begin{aligned}
 d &= h - \text{decking} - \varnothing_{\text{senggang}} - \frac{1}{2} \varnothing_{\text{lentur}} \\
 &= (350 - 40 - 10 - (\frac{1}{2} 19)) \text{ mm} \\
 &= 290,5 \text{ mm} \\
 d' &= \text{decking} + \varnothing_{\text{senggang}} + \frac{1}{2} \varnothing_{\text{lentur}} \\
 &= (40 + 10 + (\frac{1}{2} 19)) \text{ mm} \\
 &= 59,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$



**Gambar 4.38.** Tinggi Efektif Balok

- ❖ Hasil *Output* dan Diagram Gaya dalam dari analisa SAP 2000 :

Dari analisa SAP 2000, maka didapatkan hasil *output* dan diagram gaya dalam sehingga digunakan dalam proses perhitungan penulangan balok bordes.

Adapun dalam pengambilan hasil *output* dan diagram gaya dalam dari analisa SAP 2000 yaitu gaya yang ditinjau harus ditentukan dan digunakan akibat dari beberapa macam kombinasi pembebanan. Kombinasi pembebanan yang digunakan terdiri dari kombinasi beban gravitasi dan kombinasi beban gempa.

Kombinasi beban gravitasi :

- 1,4D
- 1,2D+1,6L+1,0Lr

- $1,2D+1,6L+1,0W$
- $0,9D+1,0W$

Kombinasi beban gempa :

Pembebanan dari beban gravitasi dan beban gempa positif serah sumbu X.

- $1,2D+1,0L+1,0Ex+0,3Ey$
- $1,2D+1,0L+0,3Ex+1,0Ey$

**Tabel 4.19.** Hasil Output SAP 2000 Balok Bordes (Frame 68)

Kombinasi beban	Momen Torsi (N.mm)	Momen Tumpuan Kanan (N.mm)	Momen Tumpuan Kiri (N.mm)	Momen Lapangan (N.mm)	Geser (N)
1,4D	127400 0	2166600	1221220 0	4434800	1673 0.9
1,2D+1,6L+0,5 Lr	124550 0	2216300	1189610 0	4335900	1612 8.4
1,2D+1,6L+0,5 W	124400 0	2200200	1180690 0	4296300	1602 3.1
1,2D+1W+1L+ 0,5Lr	118140 0	2047200	1114680 0	4045800	1521 0
1,2D+1L+1Ex+ 0,3Ey	575100	165600	2289500	1565900	3152
1,2D+1L+0,3Ex +Ey	958600	2603300	2053480 0	8461700	2515 4.1
0,9D+1,0W	811700	1357900	7631100	2758600	1156 8
0,9D+1,0Ex+0, 3Ey	207300	853600	5789300	2845900	2921. 3
0,9D+0,3Ex+1, 0Ey	590700	1915400	1703500 0	7181800	1996 9.1

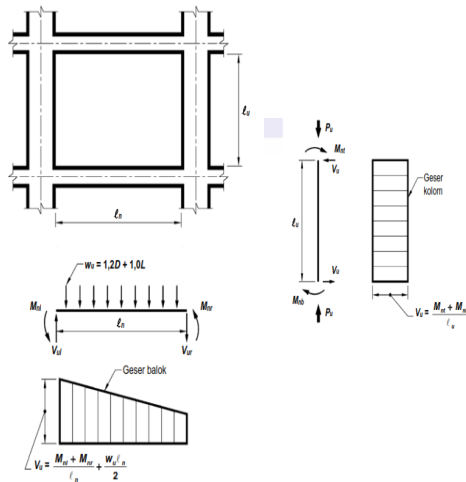
Berdasarkan hasil *output* dan diagram gaya dalam akibat kombinasi diatas dari analisa SAP 2000 didapatkan gaya geser terfaktor  $V_u = 25154.1$  N.

- ❖ Syarat gaya aksial pada balok :  
Balok harus memenuhi definisi komponen struktur lentur. Detail penulangan SRPMM harus memenuhi ketentuan-ketentuan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.(2), bila beban aksial tekan terfaktor pada komponen struktur tidak melebihi  $(A_g \cdot f_c')/10$ .

$$\begin{aligned} A_g &= b \times h \\ &= 200 \text{ mm} \times 350 \text{ mm} \\ &= 70000 \text{ mm}^2 \\ F_c' &= 30 \text{ Mpa} \\ (A_g \cdot f_c')/10 &= ((70000) \cdot (30))/10 \\ &= 210000 \text{ N} \end{aligned}$$

Berdasarkan analisa struktur SAP 2000, gaya aksial tekan akibat kombinasi  $1,2D+1,0L+0,3E_x+1,0E_y$  pada komponen struktur sebesar  $25154,1 \text{ N} < 210000 \text{ N}$ .

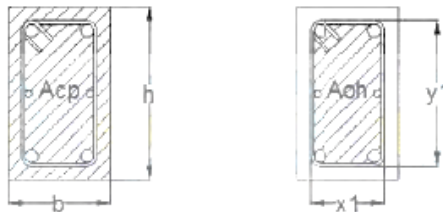
**Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3. mengenai ketentuan perhitungan penulangan balok dengan menggunakan metode sistem rangka pemikul momen menengah.**



**Gambar 4.39.** Gaya Lintang Rencana Komponen Balok pada SRPMM

**Periksa kecukupan dimensi penampang terhadap beban geser lentur dan puntir**

Ukuran penampang balok yang dipakai = 20/35



**Gambar 4.40.** Luasan  $A_{cp}$  dan  $P_{cp}$

**Luasan yang dibatasi oleh keliling luar irisan penampang beton**

$$\begin{aligned}
 A_{cp} &= b_{\text{balok}} \times h_{\text{balok}} \\
 &= 200 \text{ mm} \times 350 \text{ mm} \\
 &= 70000 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Perimeter luas irisan penampang beton  $A_{cp}$ 

$$\begin{aligned}
 P_{cp} &= 2 \times (b_{balok} + h_{balok}) \\
 &= 2 \times (200 \text{ mm} + 350 \text{ mm}) \\
 &= 1100 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Luas penampang dibatasi  $A_s$  tulangan sengkang

$$\begin{aligned}
 A_{oh} &= (b_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \emptyset_{geser}) \times (h_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \emptyset_{geser}) \\
 &= (200 \text{ mm} - 2 \times 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm}) \times (350 \text{ mm} - 2 \times 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm}) \\
 &= 28600 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Keliling penampang dibatasi  $A_s$  tulangan sengkang

$$\begin{aligned}
 P_h &= 2 \times [(b_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \emptyset_{geser}) + (h_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \emptyset_{geser})] \\
 &= 2 \times [(200 \text{ mm} - 2 \times 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm}) + (350 \text{ mm} - 2 \times 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm})] \\
 &= 740 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

**4.3.3.1. Perhitungan Penulangan Torsi**

Berdasarkan hasil *output* diagram torsi pada SAP diperoleh momen puntir terbesar :

Momen puntir ultimate

Akibat kombinasi 1,2D+1,0L+0,3E<sub>x</sub>+1,0E<sub>y</sub>

$$T_u = 3457800 \text{ N.mm}$$

$$V_u = 25154,10 \text{ N}$$

Momen puntir nominal

$$\begin{aligned}
 T_n &= T_u / \phi \\
 &= (3457800) / 0,75 \\
 &= 4610400 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

Pengaruh torsi dapat diabaikan bila momen puntir terfaktor  $T_u$  besarnya kurang dari pasal (SNI 03-2847:2013 pasal 11.5.1) :

$$\begin{aligned}
 T_{u \text{ min}} &= \phi \times 0,083 \times \lambda \times \sqrt{f'_c} \times (A_{cp}^2 / P_{cp}^2) \\
 &= 0,75 \times 0,083 \times 1 \times \sqrt{30} \times (70000^2 / 1100) \\
 &= 1518809,755 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

Sedangkan untuk momen puntir terfaktor maksimum  $T_u$  dapat diambil sebesar (**SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.2.2**) :

$$\begin{aligned} T_u \text{ max} &= \phi \times 0,33 \times \lambda \times \sqrt{f'_c} \times (A_{cp}^2/P_{cp}^2) \\ &= 0,75 \times 0,33 \times 1 \times \sqrt{30} \times (70000^2/1100) \\ &= 6038641,196 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Cek pengaruh momen puntir :

Syarat :

$T_{u_{min}} > T_u$  , tidak memerlukan tulangan puntir

$T_{u_{min}} < T_u$  , memerlukan tulangan puntir

$$T_u = 3457800 \text{ N.mm}$$

$$T_{u_{min}} = 1518809,755 \text{ N.mm}$$

$T_{u_{min}} < T_u$  , **memerlukan tulangan puntir**

Jadi penampang balok memerlukan penulangan punter yang serupa sengkang-sengkang tertutup dan tulangan memanjang.

**Cek kecukupan penampang menahan momen puntir**

Dimensi penampang melintang harus menuhi ketentuan berikut : (**SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.3.1**)

$$\begin{aligned} &\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w \cdot d}\right)^2 + \left(\frac{T_u \cdot P_h}{1,7 \cdot A_{oh}}\right)^2} \leq \sqrt{\phi \left(\frac{0,16 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d}{b_w \cdot d}\right) + 0,66 \sqrt{f'_c}} \\ &\sqrt{\left(\frac{25154,1}{200.290,5}\right)^2 + \left(\frac{3457800.740}{1,7.28600}\right)^2} \leq \\ &\sqrt{0,75 \cdot \left(\frac{0,16 \cdot \sqrt{30} \cdot 200.290,5}{200.290,5}\right) + 0,66 \sqrt{30}} \end{aligned}$$

$1,120 \leq 1,8353$  (**penampang balok mencukupi untuk menahan momen puntir**)

### **Tulangan puntir untuk lentur**

Tulangan longitudinal tambahan yang diperlukan untuk menahan puntir direncanakan berdasarkan persamaan berikut :

$$A_l = \frac{A_t}{s} \cdot P_h \cdot \frac{f_y}{f_{yt}} \cdot \cot^2 \emptyset$$

**(SNI 02-2847-2013 pasal 11.5.3.7)**

Dengan  $A_t/s$  dihitung daripersamaan di bawah ini :

$$T_h = \frac{2 \times A_o \times A_t \times f_{yt}}{s} \times \cot \emptyset$$

Untuk beton non-prategang  $\emptyset = 45^\circ$

**(SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.3.6)**

Dimana,

$$\begin{aligned} A_o &= 0,85 \times A_{oh} \\ &= 0,85 \times 28600 \text{ mm}^2 \\ &= 24310 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (A_t/s) &= (4610400)/(2 \times 24310 \times 320 \times \cot 45) \\ &= 0,296 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka tulangan puntir untuk lentur :

$$\begin{aligned} A_l &= 0,296 \times 740 \times (400/320) \cdot (\cot^2 45) \\ &= 273,80 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tetapi tidak boleh kurang dari **(SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.5.3)**

$$\begin{aligned} A_{lmin} &= \frac{0,42 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot A_{cp}}{f_y} - \left( \frac{A_t}{s} \cdot P_h \cdot \frac{f_{yt}}{f_y} \right) \\ A_{lmin} &= \frac{0,42 \cdot \sqrt{30} \cdot 70000}{400} - \left( 0,296 \cdot 740 \cdot \frac{320}{400} \right) \\ &= 227,344 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dengan  $(A_t/s)$  tidak boleh kurang dari  $(0,175 \cdot (b_w/f_{yt}))$   
 $0,175 \cdot (200/320) = 0,109375$

Maka nilai  $(A_t/s) = 0,296 > 0,109375$  (**memenuhi**)

Kontrol :

$A_{l \text{ perlu}} \leq A_{l \text{ min}}$ , maka gunakan  $A_{l \text{ min}}$

$A_{l \text{ perlu}} \geq A_{l \text{ min}}$ , maka gunakan  $A_{l \text{ perlu}}$

$$273,80 \text{ mm}^2 \geq 227,344 \text{ mm}^2 \text{ (gunakan } A_{I \text{ perlu}})$$

Maka digunakan tulangan puntir perlu sebesar  $273,80 \text{ mm}^2$ .

**Luasan tulangan puntir untuk arah memanjang dibagi merata keempat sisi pada penampang balok**

$$(A_I/4) = (273,80 \text{ mm}^2)/4 = 68,45 \text{ mm}^2$$

Penulangan torsi pada tulangan memanjang :

Pada sisi atas = disalurkan pada tulangan tarik balok

Pada sisi bawah = disalurkan pada tulangan tekan balok

**Maka masing-masing sisi atas dan bawah balokmendapat tambahan luasan puntir sebesar  $68,45 \text{ mm}^2$**

Pada sisi kanan dan kiri = dipasang tulangan puntir sebesar :

$$\begin{aligned} 2 \cdot (A_I/4) &= 2 \cdot (273,80 \text{ mm}^2)/4 \\ &= 136,90 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

**Jumlah tulangan pasang puntir longitudinal (sisi tengah)**

$$\begin{aligned} n &= (A_s/\text{Luasan D puntir}) \\ &= (135,90)/(0,25 \times \pi \times 13^2) \\ &= 1,023 \approx 2 \text{ buah} \end{aligned}$$

Dipasang tulangan puntir 2D13

**Luasan tulangan pasang puntir longitudinal (sisi tengah)**

$$\begin{aligned} A_s &= n \times \text{Luasan D tulangan puntir} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 13^2 \\ &= 265,464 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :



$A_s \text{ pasang} \geq A_s \text{ perlu}$

$$265,464 \text{ mm}^2 \geq 135,90 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Sehingga dipasang tulangan puntir di tumpuan kiri, lapangan, dan tumpuan kanan sebesar 2D13.

#### 4.3.3.2. Perhitungan Penulangan Lentur

##### Daerah Tumpuan Kiri

Diambil momen yang terbesar, akibat kombinasi :

$$1,2D+1,0L+0,3E_x+1,0E_y$$

Garis netral dalam kondisi *balance*

$$\begin{aligned} X_b &= (600/(600+f_y)) \times d \\ &= (600/(600+400)) \times 290,5 \\ &= 174,3 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral maksimum

$$\begin{aligned} X_{\max} &= 0,75 \times X_b \\ &= 0,75 \times 174,3 \text{ mm} \\ &= 130,725 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral minimum

$$\begin{aligned} X_{\min} &= d' \\ &= 59,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{\text{rencana}} = 150 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned} C_c' &= 0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_{\text{rencana}} \\ &= 0,85 \times 30 \times 200 \times 0,8375 \times 150 \\ &= 640687,5 \text{ N} \end{aligned}$$

Luasan tulangan tarik

$$\begin{aligned} A_{sc} &= C_c' / f_y \\ &= 640687,5 / 400 \\ &= 1601,72 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned}
 M_{nc} &= A_{sc} \times f_y \times (d - (\beta_1 \times X_{rencana}/2)) \\
 &= 1601,72 \times 400 \times (290,5 - ((0,8375 \times 150)/2)) \\
 &= 145876649 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

#### Momen lentur nominal (Mn)

$$\begin{aligned}
 M_{utump} &= 20534800 \text{ N.mm} \\
 M_n &= 20534800 \text{ N.mm}/0,8 \\
 &= 25668500 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

#### Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0$ , maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0$ , maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned}
 M_{ns} &= M_n - M_{nc} \\
 &= 25668500 - 145876649 \\
 &= -120208149 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

Maka,  $M_{ns} \leq 0$  (**tidak perlu tulangan lentur tekan**)

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal.

#### ➤ **Perencanaan tulangan lentur tunggal**

Diketahui :

$$f_y = 400 \text{ Mpa}$$

$$f_c' = 30 \text{ Mpa}$$

$$\beta = 0,8375$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_{balance} = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta}{f_y} + \frac{600}{600 + f_y}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{balance} &= \frac{(0,85) \cdot (30) \cdot (0,8375)}{400} + \frac{600}{600 + 400} \\
 &= 0,653
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{max} &= 0,75 \times \rho_{balance} \\
 &= 0,75 \times 0,653 \\
 &= 0,0244
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{f_y}{0,85 \cdot f'_c} \\
 &= \frac{400}{0,85 \cdot (30)} \\
 &= 15,69 \\
 M_u &= 20534800 \text{ N.mm} \\
 \phi &= 0,8 \\
 d &= 290,5 \text{ mm} \\
 b &= 200 \text{ mm} \\
 M_n &= (M_u)/\phi \\
 &= (20534800 \text{ N.mm})/(0,8) \\
 &= 25668500 \text{ N.mm} \\
 R_n &= (M_n)/(b \cdot d^2) \\
 &= (25668500 \text{ N.mm})/((200)(290,5^2)) \\
 &= 1,52 \\
 \rho &= \frac{1}{m} \cdot \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right] \\
 &= \frac{1}{15,69} \cdot \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot (15,69) \cdot (1,52)}{400}} \right] \\
 &= 0,00392 \\
 \text{Syarat, } \rho_{\min} &< \rho < \rho_{\max} \\
 0,0035 &< 0,00392 < 0,0244 \text{ (OK)} \\
 \text{Maka } \rho &= 0,00392
 \end{aligned}$$

Luasan perlu tulangan lentur tarik

$$\begin{aligned}
 A_s &= \rho \times b \times d \\
 &= (0,00392) \cdot (200 \text{ mm}) \cdot (290,5 \text{ mm}) \\
 &= 227,752 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Luasan tulangan perlu lentur ditambah luasan tambahan torsi longitudinal untuk lentur :

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ perlu}} &= A_s + (A_t/4) \\
 &= 227,752 + 68,45 \\
 &= 296,202 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan lentur tarik pakai (sisi atas)

$$\begin{aligned}
 N &= A_{s \text{ perlu}} / \text{Luasan D lentur} \\
 &= 296,202 / (0,25 \times \pi \times 19^2) \\
 &= 1,04 \approx 2 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan lentur 2D19

Luasan tulangan lentur Tarik pasang (sisi atas)

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ pasang}} &= n_{\text{pasang}} \times \text{luasan D lentur} \\
 &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\
 &= 567,06 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ pasang}} &\geq A_{s \text{ perlu}} \\
 567,06 \text{ mm}^2 &\geq 296,202 \text{ mm}^2 \text{ (**memenuhi**)}
 \end{aligned}$$

Luasan pasang ( $A_s'$ ) tulangan lentur tekan

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.1 luasan tulangan tidak boleh kurang dari 0,3 tulangan Tarik

$$\begin{aligned}
 A_{s'} &= 0,3 \times A_s \\
 &= 0,3 \times 567,06 \text{ mm}^2 \\
 &= 170,118 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan lentur tekan pakai (sisi bawah)

$$\begin{aligned}
 n &= A_{s \text{ perlu}} / \text{Luasan D lentur} \\
 &= 170,118 / (0,25 \times \pi \times 13^2) \\
 &= 1,28 \approx 2 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Luasan tulangan lentur tekan pasang (sisi bawah)

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ pasang}} &= n_{\text{pasang}} \times \text{luasan D lentur} \\
 &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 13^2 \\
 &= 265,464 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol jarak spasi tulangan pakai

Syarat :

$$\begin{aligned}
 S_{\text{max}} \geq S_{\text{sejajar}} &= 25 \text{ mm, susun 1 lapis} \\
 S_{\text{max}} \leq S_{\text{sejajar}} &= 25 \text{ mm, susun lebih dari 1 lapis}
 \end{aligned}$$

Direncanakan dipakai tulangan tarik satu lapis 2D19 dan tulangan tekan 2D13.

Kontrol tulangan tarik

$$S_{\max} = \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times \phi_{\text{geser}}) - (n \times D)}{n - 1}$$

$$S_{\max} = \frac{200 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 19)}{2 - 1}$$

$$= 62 \text{ mm}$$

$$S_{\max} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

$$62 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \text{ (**memenuhi**)}$$

Kontrol tulangan tekan

$$S_{\text{tekan}} = \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times \phi_{\text{geser}}) - (n \times D)}{n - 1}$$

$$S_{\text{tekan}} = \frac{200 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 13)}{2 - 1}$$

$$= 74 \text{ mm}$$

$$S_{\max} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

$$74 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \text{ (**memenuhi**)}$$

Maka dipakai tulangan lentur balok bordes BB (20/35 untuk daerah tumpuan kiri :

- Tulangan lentur tarik susun 1 lapis  
Lapis 1 = 2D19
- Tulangan lentur tekan susun 1 lapis  
Lapis 1 = 2D13

### **Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok**

Kuat momen lentur positif balok pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari sperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka-

muka kolom di kedua ujung komponen tersebut.  $M$  lentur tumpuan (+)  $\geq 1/3 \times M$  lentur tumpuan (-).

**[SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.(1)]**

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= n_{\text{pasang}} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\ &= 567,06 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s' \text{ pasang} &= n_{\text{pasang}} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 13^2 \\ &= 265,464 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$M$  lentur tumpuan (+)  $\geq (1/3) M$  lentur tumpuan (-)

$$265,464 \geq (1/3) 567,06$$

$$265,464 \geq 189,02 \text{ (memenuhi)}$$

Jadi pada daerah tumpuan kiri, dipasang tulangan :

Tulangan tarik = 2D19

Tulangan tekan = 2D13

### **Kontrol kemampuan penampang**

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \\ &= \frac{(567,06) \cdot (400)}{0,85 \times (30) \times (200)} \\ &= 44,475 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n \text{ pasang} &= A_s \cdot f_y \cdot (d - (a/2)) \\ &= (567,06) \cdot (400) \cdot (290,5 - (44,475/2)) \\ &= 60817185 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi \cdot M_n \text{ pasang} &= 0,8 \times 60817185 \\ &= 48653748 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

$$M_u \text{ perlu} = 20534800 \text{ N.mm}$$

$$\phi \cdot M_n \text{ pasang} \geq M_u \text{ perlu}$$

$$48653748 \text{ N.mm} \geq 20534800 \text{ N.mm (memenuhi)}$$

Jadi penulangan lentur untuk balok bordes (20/35) pada daerah tumpuan kiri dipakai tulangan tarik 2D19 dan tulangan tekan 2D13 dengan susunan sebagai berikut :

- **Tulangan lentur tarik susun 1 lapis**

- Lapis 1 = 2D19  
 - **Tulangan lentur tekan susun 1 lapis**  
 Lapis 1 = 2D13

### **Daerah Tumpuan Kanan**

Diambil momen yang terbesar, akibat kombinasi :

$$1,2D+1,0L+0,3E_x+1,0E_y$$

Garis netral dalam kondisi *balance*

$$\begin{aligned} X_b &= (600/(600+f_y)) \times d \\ &= (600/(600+400)) \times 290,5 \\ &= 174,3 \text{ mm} \end{aligned}$$

### **Garis netral maksimum**

$$\begin{aligned} X_{\max} &= 0,75 \times X_b \\ &= 0,75 \times 174,3 \text{ mm} \\ &= 130,725 \text{ mm} \end{aligned}$$

### **Garis netral minimum**

$$\begin{aligned} X_{\min} &= d' \\ &= 59,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

### **Garis netral rencana (asumsi)**

$$X_{\text{rencana}} = 150 \text{ mm}$$

### **Komponen beton tertekan**

$$\begin{aligned} C_c' &= 0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_{\text{rencana}} \\ &= 0,85 \times 30 \times 200 \times 0,8375 \times 150 \\ &= 640687,5 \text{ N} \end{aligned}$$

### **Luasan tulangan tarik**

$$\begin{aligned} A_{sc} &= C_c' / f_y \\ &= 640687,5 / 400 \\ &= 1601,72 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

### **Momen nominal tulangan lentur tunggal**

$$\begin{aligned} M_{nc} &= A_{sc} \times f_y \times (d - (\beta_1 \times X_{\text{rencana}}/2)) \\ &= 1601,72 \times 400 \times (290,5 - ((0,8375 \times 150)/2)) \\ &= 145876649 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Momen lentur nominal (Mn)

$$Mu_{tump} = 2603300 \text{ N.mm}$$

$$Mn = 2603300 \text{ N.mm}/0,8$$

$$= 3254125 \text{ N.mm}$$

Cekmomen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0$ , maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0$ , maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$M_{ns} = M_n - M_{nc}$$

$$= 3254125 - 145876649$$

$$= -142622524 \text{ N.mm}$$

Maka,  $M_{ns} \leq 0$  (**tidak perlu tulangan lentur tekan**)

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal.

➤ **Perencanaan tulangan lentur tunggal**

Diketahui :

$$f_y = 400 \text{ Mpa}$$

$$f_c' = 30 \text{ Mpa}$$

$$\beta = 0,8375$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_{balance} = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta}{f_y} + \frac{600}{600 + f_y}$$

$$\rho_{balance} = \frac{(0,85) \cdot (30) \cdot (0,8375)}{400} + \frac{600}{600 + 400}$$

$$= 0,653$$

$$\rho_{max} = 0,75 \times \rho_{balance}$$

$$= 0,75 \times 0,653$$

$$= 0,0244$$

$$m = \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'}$$

$$= \frac{400}{0,85 \cdot (30)}$$

$$= 15,69$$



$$\begin{aligned}
M_u &= 2603300 \text{ N.mm} \\
\phi &= 0,8 \\
d &= 290,5 \text{ mm} \\
b &= 200 \text{ mm} \\
M_n &= (M_u)/\phi \\
&= (2603300 \text{ N.mm})/(0,8) \\
&= 3254125 \text{ N.mm} \\
R_n &= (M_n)/(b \cdot d^2) \\
&= (3254125 \text{ N.mm})/((200)(290,5^2)) \\
&= 0,192 \\
\rho &= \frac{1}{m} \cdot \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right] \\
&= \frac{1}{15,69} \cdot \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot (15,69) \cdot (0,192)}{400}} \right] \\
&= 0,000482
\end{aligned}$$

Syarat,  $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$   
 $0,0035 < 0,000482 < 0,0244$  (**Tidak OK**)

Sesuai **SNI 03-2847-2013 pasal 10.5.(3)** sebagai alternatif, untuk komponen struktur besar dan masif luas tulangan yang diperlukan paling sedikit harus sepertiga lebih besar dari yang diperlukan

Maka  $\rho$  diperbesar 30%,  $\rho = 0,000482 \times 1,3 = 0,000623$

Maka  $\rho = 0,0035$

#### Luasan perlu tulangan lentur tarik

$$\begin{aligned}
A_s &= \rho \times b \times d \\
&= (0,0035) \cdot (200 \text{ mm}) \cdot (290,5 \text{ mm}) \\
&= 203,35 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

Luasan tulangan perlu lentur ditambah luasan tambahan torsi longitudinal untuk lentur :

$$\begin{aligned}
A_{s \text{ perlu}} &= A_s + (A_t/4) \\
&= 203,35 + 68,45 \\
&= 271,80 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

Jumlah tulangan lentur tarik pakai (sisi atas)

$$\begin{aligned}
 N &= A_{s \text{ perlu}} / \text{Luasan D lentur} \\
 &= 271,80 / (0,25 \times \pi \times 19^2) \\
 &= 0,958 \approx 2 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan lentur 2D19

Luasan tulangan lentur Tarik pasang (sisi atas)

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ pasang}} &= n_{\text{pasang}} \times \text{luasan D lentur} \\
 &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\
 &= 567,06 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ pasang}} &\geq A_{s \text{ perlu}} \\
 567,06 \text{ mm}^2 &\geq 271,80 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Luasan pasang ( $A_s'$ ) tulangan lentur tekan

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.1 luasan tulangan tidak boleh kurang dari 0,3 tulangan Tarik

$$\begin{aligned}
 A_s' &= 0,3 \times A_s \\
 &= 0,3 \times 567,06 \text{ mm}^2 \\
 &= 170,118 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan lentur tekan pakai (sisi bawah)

$$\begin{aligned}
 n &= A_{s \text{ perlu}} / \text{Luasan D lentur} \\
 &= 170,118 / (0,25 \times \pi \times 13^2) \\
 &= 1,28 \approx 2 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Luasan tulangan lentur tekan pasang (sisi bawah)

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ pasang}} &= n_{\text{pasang}} \times \text{luasan D lentur} \\
 &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 13^2 \\
 &= 265,464 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol jarak spasi tulangan pakai

Syarat :

$$S_{\max} \geq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm, susun 1 lapis}$$

$$S_{\max} \leq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm, susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan dipakai tulangan tarik satu lapis 2D19 dan tulangan tekan 2D13.

Kontrol tulangan tarik

$$S_{\max} = \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times \phi_{\text{geser}}) - (n \times D)}{n - 1}$$

$$S_{\max} = \frac{200 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 19)}{2 - 1}$$

$$= 62 \text{ mm}$$

$$S_{\max} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

$$62 \text{ mm} > 25 \text{ mm (memenuhi)}$$

Kontrol tulangan tekan

$$S_{\text{tekan}} = \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times \phi_{\text{geser}}) - (n \times D)}{n - 1}$$

$$S_{\text{tekan}} = \frac{200 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 13)}{2 - 1}$$

$$= 74 \text{ mm}$$

$$S_{\max} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

$$74 \text{ mm} > 25 \text{ mm (memenuhi)}$$

Maka dipakai tulangan lentur balok bordes BB (20/35 untuk daerah tumpuan kiri :

- Tulangan lentur tarik susun 1 lapis  
Lapis 1 = 2D19
- Tulangan lentur tekan susun 1 lapis  
Lapis 1 = 2D13

**Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok**

Kuat momen lentur positif balok pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negatif maupun

kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari sperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka-muka kolom di kedua ujung komponen tersebut.  $M$  lentur tumpuan (+)  $\geq 1/3 \times M$  lentur tumpuan (-).

**[SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.(1)]**

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} A_{s \text{ pasang}} &= n_{\text{pasang}} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\ &= 567,06 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s'} \text{ pasang} &= n_{\text{pasang}} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 13^2 \\ &= 265,464 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq (1/3) M \text{ lentur tumpuan (-)}$$

$$265,464 \geq (1/3) 567,06$$

$$265,464 \geq 189,02 \text{ (**memenuhi**)}$$

Jadi pada daerah tumpuan kiri, dipasang tulangan :

$$\text{Tulangan tarik} = 2D19$$

$$\text{Tulangan tekan} = 2D13$$

### **Kontrol kemampuan penampang**

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \\ &= \frac{(567,06) \cdot (400)}{0,85 \times (30) \times (200)} \\ &= 44,475 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n \text{ pasang} &= A_s \cdot f_y \cdot (d - (a/2)) \\ &= (567,06) \cdot (400) \cdot (290,5 - (44,475/2)) \\ &= 60817185 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi \cdot M_n \text{ pasang} &= 0,8 \times 60817185 \\ &= 48653748 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

$$M_u \text{ perlu} = 2603300 \text{ N.mm}$$

$$\phi \cdot M_n \text{ pasang} \geq M_u \text{ perlu}$$

$$48653748 \text{ N.mm} \geq 2603300 \text{ N.mm (**memenuhi**)}$$

Jadi penulangan lentur untuk balok bordes (20/35) pada daerah tumpuan kiri dipakai tulangan tarik 2D19 dan tulangan tekan 2D13 dengan susunan sebagai berikut :

- **Tulangan lentur tarik susun 1 lapis**  
Lapis 1 = 2D19
- **Tulangan lentur tekan susun 1 lapis**  
Lapis 1 = 2D13

### **Daerah Tumpuan Lapangan**

Diambil momen yang terbesar, akibat kombinasi :

$$1,2D+1,0L+0,3E_x+1,0E_y$$

Garis netral dalam kondisi *balance*

$$\begin{aligned} X_b &= (600/(600+f_y)) \times d \\ &= (600/(600+400)) \times 290,5 \\ &= 174,3 \text{ mm} \end{aligned}$$

### **Garis netral maksimum**

$$\begin{aligned} X_{\max} &= 0,75 \times X_b \\ &= 0,75 \times 174,3 \text{ mm} \\ &= 130,725 \text{ mm} \end{aligned}$$

### **Garis netral minimum**

$$\begin{aligned} X_{\min} &= d' \\ &= 59,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

### **Garis netral rencana (asumsi)**

$$X_{\text{rencana}} = 150 \text{ mm}$$

### **Komponen beton tertekan**

$$\begin{aligned} C_c' &= 0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_{\text{rencana}} \\ &= 0,85 \times 30 \times 200 \times 0,8375 \times 150 \\ &= 640687,5 \text{ N} \end{aligned}$$

### **Luasan tulangan tarik**

$$\begin{aligned} A_{sc} &= C_c' / f_y \\ &= 640687,5 / 400 \\ &= 1601,72 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned}
 M_{nc} &= A_{sc} \times f_y \times (d - (\beta_1 \times X_{rencana}/2)) \\
 &= 1601,72 \times 400 \times (290,5 - ((0,8375 \times 150)/2)) \\
 &= 145876649 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

Momen lentur nominal (Mn)

$$\begin{aligned}
 M_{u_{lap}} &= 8461700 \text{ N.mm} \\
 M_n &= 8461700 \text{ N.mm}/0,8 \\
 &= 10577125 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0$ , maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0$ , maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned}
 M_{ns} &= M_n - M_{nc} \\
 &= 10577125 - 145876649 \\
 &= -135299624 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

Maka,  $M_{ns} \leq 0$  (**tidak perlu tulangan lentur tekan**)

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal.

➤ **Perencanaan tulangan lentur tunggal**

Diketahui :

$$f_y = 400 \text{ Mpa}$$

$$f_c' = 30 \text{ Mpa}$$

$$\beta = 0,8375$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_{balance} = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta}{f_y} + \frac{600}{600 + f_y}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{balance} &= \frac{(0,85) \cdot (30) \cdot (0,8375)}{400} + \frac{600}{600 + 400} \\
 &= 0,653
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{max} &= 0,75 \times \rho_{balance} \\
 &= 0,75 \times 0,653 \\
 &= 0,0244
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{f_y}{0,85 \cdot f'_c} \\
 &= \frac{400}{0,85 \cdot (30)} \\
 &= 15,69 \\
 M_u &= 8461700 \text{ N.mm} \\
 \phi &= 0,8 \\
 d &= 290,5 \text{ mm} \\
 b &= 200 \text{ mm} \\
 M_n &= (M_u)/\phi \\
 &= (8461700 \text{ N.mm})/(0,8) \\
 &= 10577125 \text{ N.mm} \\
 R_n &= (M_n)/(b \cdot d^2) \\
 &= (10577125 \text{ N.mm})/((200)(290,5^2)) \\
 &= 0,627 \\
 \rho &= \frac{1}{m} \cdot \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right] \\
 &= \frac{1}{15,69} \cdot \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot (15,69) \cdot (0,627)}{400}} \right] \\
 &= 0,00158
 \end{aligned}$$

Syarat,  $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$   
 $0,0035 < 0,00158 < 0,0244$  (**Tidak OK**)

Sesuai **SNI 03-2847-2013 pasal 10.5.(3)** sebagai alternatif, untuk komponen struktur besar dan masif luas tulangan yang diperlukan paling sedikit harus sepertiga lebih besar dari yang diperlukan

Maka  $\rho$  diperbesar 30%,  $\rho = 0,00158 \times 1,3 = 0,002054$

Maka  $\rho = 0,0035$

Luasan perlu tulangan lentur tarik

$$\begin{aligned}
 A_s &= \rho \times b \times d \\
 &= (0,0035) \cdot (200 \text{ mm}) \cdot (290,5 \text{ mm}) \\
 &= 203,35 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Luasan tulangan perlu lentur ditambah luasan tambahan torsi longitudinal untuk lentur :

$$A_{s \text{ perlu}} = A_s + (A_t/4)$$

$$\begin{aligned}
 &= 203,35 + 68,45 \\
 &= 271,80 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan lentur tarik pakai (sisi atas)

$$\begin{aligned}
 N &= A_{s \text{ perlu}} / \text{Luasan D lentur} \\
 &= 271,80 / (0,25 \times \pi \times 19^2) \\
 &= 0,958 \approx 2 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan lentur 2D19

Luasan tulangan lentur Tarik pasang (sisi atas)

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ pasang}} &= n_{\text{pasang}} \times \text{luasan D lentur} \\
 &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\
 &= 567,06 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ pasang}} &\geq A_{s \text{ perlu}} \\
 567,06 \text{ mm}^2 &\geq 271,80 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Luasan pasang ( $A_s'$ ) tulangan lentur tekan

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.1 luasan tulangan tidak boleh kurang dari 0,3 tulangan Tarik

$$\begin{aligned}
 A_s' &= 0,3 \times A_s \\
 &= 0,3 \times 567,06 \text{ mm}^2 \\
 &= 170,118 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan lentur tekan pakai (sisi bawah)

$$\begin{aligned}
 n &= A_{s \text{ perlu}} / \text{Luasan D lentur} \\
 &= 170,118 / (0,25 \times \pi \times 13^2) \\
 &= 1,28 \approx 2 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Luasan tulangan lentur tekan pasang (sisi bawah)

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ pasang}} &= n_{\text{pasang}} \times \text{luasan D lentur} \\
 &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 13^2 \\
 &= 265,464 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$



Kontrol jarak spasi tulangan pakai

Syarat :

$$S_{\max} \geq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm, susun 1 lapis}$$

$$S_{\max} \leq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm, susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan dipakai tulangan tarik satu lapis 2D19 dan tulangan tekan 2D13.

Kontrol tulangan tarik

$$S_{\max} = \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times \phi_{\text{geser}}) - (n \times D)}{n - 1}$$

$$S_{\max} = \frac{200 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 19)}{2 - 1}$$

$$= 62 \text{ mm}$$

$$S_{\max} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

$$62 \text{ mm} > 25 \text{ mm (memenuhi)}$$

Kontrol tulangan tekan

$$S_{\text{tekan}} = \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times \phi_{\text{geser}}) - (n \times D)}{n - 1}$$

$$S_{\text{tekan}} = \frac{200 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 13)}{2 - 1}$$

$$= 74 \text{ mm}$$

$$S_{\max} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

$$74 \text{ mm} > 25 \text{ mm (memenuhi)}$$

Maka dipakai tulangan lentur balok bordes BB (20/35 untuk daerah tumpuan kiri :

- Tulangan lentur tarik susun 1 lapis  
Lapis 1 = 2D19
- Tulangan lentur tekan susun 1 lapis  
Lapis 1 = 2D13

**Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok**

Kuat momen lentur positif balok pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negatif maupun

kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari sperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka-muka kolom di kedua ujung komponen tersebut.  $M$  lentur tumpuan (+)  $\geq 1/3 \times M$  lentur tumpuan (-).

**[SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.(1)]**

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} A_{s \text{ pasang}} &= n_{\text{pasang}} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\ &= 567,06 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s'} \text{ pasang} &= n_{\text{pasang}} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 13^2 \\ &= 265,464 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq (1/3) M \text{ lentur tumpuan (-)}$$

$$265,464 \geq (1/3) 567,06$$

$$265,464 \geq 189,02 \text{ (**memenuhi**)}$$

Jadi pada daerah tumpuan kiri, dipasang tulangan :

$$\text{Tulangan tarik} = 2D19$$

$$\text{Tulangan tekan} = 2D13$$

### **Kontrol kemampuan penampang**

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \\ &= \frac{(567,06) \cdot (400)}{0,85 \times (30) \times (200)} \\ &= 44,475 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n \text{ pasang} &= A_s \cdot f_y \cdot (d - (a/2)) \\ &= (567,06) \cdot (400) \cdot (290,5 - (44,475/2)) \\ &= 60817185 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi \cdot M_n \text{ pasang} &= 0,8 \times 60817185 \\ &= 48653748 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

$$M_u \text{ perlu} = 8461700 \text{ N.mm}$$

$$\phi \cdot M_n \text{ pasang} \geq M_u \text{ perlu}$$

$$48653748 \text{ N.mm} \geq 8461700 \text{ N.mm (**memenuhi**)}$$

Jadi penulangan lentur untuk balok bordes (20/35) pada daerah tumpuan kiri dipakai tulangan tarik 2D19 dan tulangan tekan 2D13 dengan susunan sebagai berikut :

- **Tulangan lentur tarik susun 1 lapis**  
Lapis 1 = 2D19
- **Tulangan lentur tekan susun 1 lapis**  
Lapis 1 = 2D13

#### 4.3.3.3. Perhitungan Penulangan Geser

Tipe balok : BB (20/35)  
 Dimensi balok (b) : 200 mm  
 Dimensi balok (h) : 350 mm  
 Kuat tekan beton ( $f_c'$ ) : 30 Mpa  
 Kuat leleh tulangan geser ( $f_{yv}$ ) : 320 Mpa  
 Diameter tulangan geser ( $\emptyset$ ) : 10 mm  
 $\beta_1$  : 0,8375  
 Faktor reduksi kekuatan geser : 0,75  
 Berdasarkan perhitungan tulangan lentur pada balok bordes (20/35) elevasi +3,00, didapat :

##### *Momen Nominal Kiri*

Momen nominal kiri diperoleh dari hasil perhitungan tulangan lentur tumpuan kiri dengan luasan tulangan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \times f_c' \times b} \\
 &= \frac{(567,06) \cdot (400)}{0,85 \times (30) \times (200)} \\
 &= 44,475 \text{ mm} \\
 M_n \text{ pasang} &= A_s \cdot f_y \cdot (d - (a/2)) \\
 &= (567,06) \cdot (400) \cdot (290,5 - (44,475/2)) \\
 &= 60817185 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

##### *Momen Nominal Kanan*

Momen nominal kanan diperoleh dari hasil perhitungan tulangan lentur tumpuan kanan dengan luasan tulangan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \\
 &= \frac{(567,06) \cdot (400)}{0,85 \times (30) \times (200)} \\
 &= 44,475 \text{ mm} \\
 M_n \text{ pasang} &= A_s \cdot f_y \cdot (d - (a/2)) \\
 &= (567,06) \cdot (400) \cdot (290,5 - (44,475/2)) \\
 &= 60817185 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil *output* dan diagram gaya dalam akibat kombinasi  $1,2D+1,0L+0,3E_x+1,0E_y$  dari analisa SAP 2000 didapatkan :

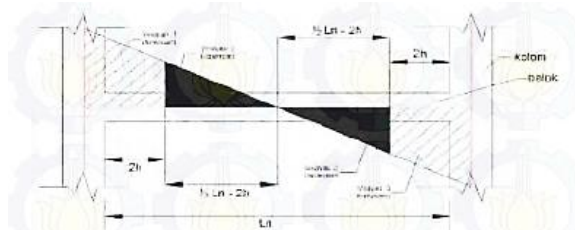
Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.2,  $V_u$  diambil tepat dari muka kolom :

Gaya geser terfaktor  $V_u = 25154,1 \text{ N}$

#### Pembagian Wilayah Geser Balok

Dalam perhitungan tulangan geser (senggang) pada balok, wilayah balok dibagi menjadi 3 wilayah yaitu :

- Wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan), sejarak dua kali tinggi balok dari muka kolom ke arah tengah bentang (**SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4.2**)
- Wilayah 2 (daerah lapangan), dimulai dari wilayah 1 atau 3 ke  $\frac{1}{2}$  bentang balok.



**Gambar 4.40.** Pembagian Wilayah Geser pada Balok

Syarat kuat tekan beton ( $f_c'$ )

Nilai  $\sqrt{f_c'}$  yang digunakan tidak boleh melebihi 25/3 Mpa. **(SNI 03-2847-2013)**

$$\sqrt{f_c'} < (25/3)$$

$$\sqrt{30} < 8,33$$

$$5,477 < 8,33 \text{ (memenuhi)}$$

Kuat geser beton (SNI 03-2847-2013 Pasal 11.2.1.1)

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d \\ &= 0,17 \times \sqrt{30} \times 200 \times 290,5 \\ &= 54098,557 \text{ N} \end{aligned}$$

Kuat geser tulangan geser

$$\begin{aligned} V_{S \min} &= 0,33 \times b \times d \\ &= 0,33 \times 200 \times 290,5 \\ &= 19173 \text{ N} \\ V_{S \max} &= 0,33 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d \\ &= 0,33 \times \sqrt{30} \times 200 \times 290,5 \\ &= 105014,846 \text{ N} \\ 2. V_{S \max} &= 0,66 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d \\ &= 0,66 \times \sqrt{30} \times 200 \times 290,5 \\ &= 210029,692 \text{ N} \end{aligned}$$

Penulangan geser balok

1. Pada wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan)

Gaya geser diperoleh dari :

$$V_{u1} = \frac{M_{nl} + M_{nr}}{L_n} + \frac{W_u \times L_n}{2}$$

$$V_{u1} = \frac{M_{nl} + M_{nr}}{L_n} + V_u$$

**(SNI 03-2847-2013 pasal 21.3)**

Dimana :

$V_{U1}$  = Gaya geser pada muka perletakan

$M_{nl}$  = Momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kiri)

$M_{nr}$  = Momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kanan)

$L_n$  = Panjang balok

Maka :

$$V_{u1} = \frac{60817185 + 60817185}{1000} + 25154,1$$

$$= 146788,47 \text{ N}$$

Kondisi 1

$V_U \leq 0,5 \varphi V_C$ , tidak perlu tulangan geser

$$V_U = 146788,47 \text{ N}$$

$$0,5 \cdot \varphi \cdot V_C = 0,5 \cdot (0,75) \cdot (54098,557)$$

$$= 20286,96 \text{ N}$$

$146788,47 \text{ N} > 20286,96 \text{ N}$  (**Tidak memenuhi**)

Kondisi 2

$0,5 \varphi V_C \leq V_U \leq \varphi \cdot V_C$ , tulangan geser

$$0,5 \cdot \varphi \cdot V_C = 0,5 \cdot (0,75) \cdot (54098,557)$$

$$= 20286,96 \text{ N}$$

$$\varphi \cdot V_C = (0,75) \cdot (54098,557)$$

$$= 40573,92 \text{ N}$$

$$V_U = 146788,47 \text{ N}$$

$20286,96 \text{ N} \leq 146788,47 \text{ N} > 40573,92 \text{ N}$  (**Tidak memenuhi**)

Kondisi 3

$\varphi \cdot V_C \leq V_U \leq \varphi \cdot (V_C + V_{S \min})$ , tulangan geser

$$\varphi \cdot V_C = (0,75) \cdot (54098,557)$$

$$= 40573,92 \text{ N}$$

$$\varphi \cdot (V_C + V_{S \min}) = 0,75 \cdot (54098,557 + 19173)$$

$$= 54953,67 \text{ N}$$

$$V_U = 146788,47 \text{ N}$$

$40573,92 \text{ N} \leq 146788,47 \text{ N} > 54953,67 \text{ N}$  (**Tidak memenuhi**)

Kondisi 4

$\varphi \cdot (V_C + V_{S \min}) \leq V_U \leq \varphi \cdot (V_C + V_{S \max})$ , tulangan geser

$$\varphi \cdot (V_C + V_{S \min}) = 0,75 \cdot (54098,557 + 19173)$$

$$= 54953,67 \text{ N}$$

$$\varphi \cdot (V_C + V_{S \max}) = 0,75 \cdot (54098,557 + 105014,846)$$

$$= 119335,05 \text{ N}$$

$$V_U = 146788,47 \text{ N}$$

$$54953,67 \text{ N} \leq 146788,47 \text{ N} > 119335,05 \text{ N} \text{ (**Tidak memenuhi**)}$$

#### Kondisi 5

$\phi (V_C + V_{S \max}) \leq V_U \leq \phi (V_C + 2 \cdot V_{S \max})$ , tulangan geser

$$\phi \cdot (V_C + V_{S \max}) = 0,75 \cdot (54098,557 + 105014,846)$$

$$= 119335,05 \text{ N}$$

$$\phi \cdot (V_C + 2V_{S \max}) = 0,75 \cdot (54098,557 + 210029,692)$$

$$= 198096,19 \text{ N}$$

$$V_U = 146788,47 \text{ N}$$

$$119335,05 \text{ N} \leq 146788,47 \text{ N} \leq 198096,19 \text{ N} \text{ B}$$

(**memenuhi**)

Maka direncanakan penulangan geser balok diambil berdasarkan **kondisi 5**.

$$V_{S \text{ perlu}} = \frac{V_U - \phi \cdot V_C}{\phi}$$

$$= \frac{146788,47 - (0,75) \cdot (54098,557)}{0,75}$$

$$= 141619,403 \text{ N}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser Ø10 mm dengan 2 kaki, maka luasan tulangan geser :

$$A_v = (0,25 \times \pi \times \emptyset^2) \times n_{\text{kaki}}$$

$$= 0,25 \times \pi \times 10^2 \times 2$$

$$= 157,88 \text{ mm}^2$$

#### Jarak tulangan geser perlu ( $S_{\text{perlu}}$ )

$$S_{\text{perlu}} = \frac{A_v \times f_{yv} \times d}{V_{S \text{ perlu}}}$$

$$= \frac{(157,88) \times (320) \times (290,5)}{141619,403}$$

$$= 103,63 \text{ mm}$$

Maka dipasang jarak 100 mm antar tulangan geser.

#### Kontrol jarak spasi tulangan geser berdasarkan kondisi 5

$$S_{\max} < (d/4) \text{ atau } S_{\max} < 600 \text{ mm}$$

$$- 100 \text{ mm} < (290,5/2)$$

- 100mm < 145,25 mm (**memenuhi**)
- 100 mm < 600 (**memenuhi**)

**Cek persyaratan SRPMM untuk kekuatan geser balok**

Pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus dipasang sengkang sepanjang jarak dua kali komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama dipasang pada jarak tidak lebih dari 50 mm dari muka perletakan.

Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi :

- a.  $d/4$
- b. delapan kali diameter tulangan longitudinal
- c. 24 kali diameter sengkang
- d. 300 mm

(SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.(2))

$$S_{\text{pakai}} < (d/4)$$

$$100 \text{ mm} < (290,5) \text{ mm}$$

$$100 \text{ mm} < 145,25 \text{ mm} \text{ (**memenuhi**)}$$

$$S_{\text{pakai}} < 8.D_{\text{lentur}}$$

$$100 \text{ mm} < 8.(19) \text{ mm}$$

$$100 \text{ mm} < 152 \text{ mm} \text{ (**memenuhi**)}$$

$$S_{\text{pakai}} < 24.\phi_{\text{sengkang}}$$

$$100 \text{ mm} < 24.(10) \text{ mm}$$

$$100 \text{ mm} < 240 \text{ mm} \text{ (**memenuhi**)}$$

$$S_{\text{pakai}} < 300 \text{ mm}$$

$$100 \text{ mm} < 300 \text{ mm} \text{ (**memenuhi**)}$$

**Jadi, penulangan geser balok untuk balok BB (20/35) pada wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan) dipasang Ø10-100 dengan sengkang 2 kaki.**

2. Pada wilayah 2 (daerah lapangan)



Gaya geser pada wilayah 2 diperoleh dengan menggunakan metode perbandingan segitiga, dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\frac{V_{u2}}{\frac{1}{2} \cdot L_n - 2 \cdot h} &= \frac{V_{u1}}{\frac{1}{2} \cdot L_n} \\ V_{u2} &= \frac{V_{u1} \times (\frac{1}{2} \cdot L_n - 2 \cdot h)}{\frac{1}{2} \cdot L_n} \\ &= \frac{(146788,47) \times (\frac{1}{2} \cdot (1000) - 2 \cdot (350))}{\frac{1}{2} \cdot (1000)} \\ &= -58715,388 \text{ N}\end{aligned}$$

#### Kondisi 1

$V_U \leq 0,5 \phi V_C$ , tidak perlu tulangan geser

$$V_U = -58715,388 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}0,5 \phi V_C &= 0,5 \cdot (0,75) \cdot (54098,557) \\ &= 20286,96 \text{ N}\end{aligned}$$

$$-58715,388 \text{ N} \leq 20286,96 \text{ N} \text{ (Memenuhi)}$$

Maka perencanaan kondisi penulangan geser balok diambil berdasarkan **kondisi 1**.

Maka dipasang jarak minimum 130 mm antar tulangan geser.

#### **Cek persyaratan SRPMM untuk kekuatan geser balok**

Pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus dipasang sengkang sepanjang jarak dua kali komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama dipasang pada jarak tidak lebih dari 50 mm dari muka perletakan.

Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi :

- a.  $d/4$
- b. delapan kali diameter tulangan longitudinal

- c. 24 kali diameter sengkang
- d. 300 mm

**(SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.(2))**

$$S_{\text{pakai}} < (d/4)$$

$$130 \text{ mm} < (290,5) \text{ mm}$$

$$130 \text{ mm} < 145,25 \text{ mm} \text{ (memenuhi)}$$

$$S_{\text{pakai}} < 8.D_{\text{lentur}}$$

$$130 \text{ mm} < 8.(19) \text{ mm}$$

$$130 \text{ mm} < 152 \text{ mm} \text{ (memenuhi)}$$

$$S_{\text{pakai}} < 24.\phi_{\text{sengkang}}$$

$$130 \text{ mm} < 24.(10) \text{ mm}$$

$$130 \text{ mm} < 240 \text{ mm} \text{ (memenuhi)}$$

$$S_{\text{pakai}} < 300 \text{ mm}$$

$$130 \text{ mm} < 300 \text{ mm} \text{ (memenuhi)}$$

**Jadi, penulangan geser balok untuk balok BB (20/35) pada wilayah 2 (daerah lapangan) dipasang Ø10-130 dengan sengkang 2 kaki.**

#### **4.3.3.4. Perhitungan Panjang Penyaluran**

Gaya tarik dan tekan pada tulangan di setiap penampang komponen struktur beton bertulangan harus disalurkan pada masing-masing penampang melalui penyaluran tulangan. Adapun perhitungan penyaluran tulangan berdasarkan **SNI 03-2847-2013 pasal 12.**

- Penyaluran tulangan dalam kondisi tarik  
 Penyaluran tulangan dalam kondisi tarik dihitung berdasarkan **SNI 03-2847-2013 pasal 12.2**  
 Panjang penyaluran untuk batang ulir dan kawat dalam kondisi tarik tidak boleh kurang dari 300 mm.

**(SNI 03-2847-2013 pasal 12.2.1)**

Untuk panjang penyaluran batang ulir dan kawat ulir dapat dihitung berdasarkan **SNI 03-2847-2013 tabel pada pasal 12.2** sebagai berikut.

	Batang tulangan atau kawat ulir D-19 dan yang lebih kecil	Batang tulangan D-22 dan yang lebih besar
Spasi bersih batang tulangan atau kawat yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari $d_b$ , selimut bersih tidak kurang dari $d_b$ , dan sengkang atau pengikat sepanjang $\ell_d$ tidak kurang dari minimum Tata Cara atau Spasi bersih batang tulangan atau kawat yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari $2d_b$ dan selimut bersih tidak kurang dari $d_b$	$\left( \frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{2,1\lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b$	$\left( \frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{1,7\lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b$
Kasus-kasus lain	$\left( \frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{1,4\lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b$	$\left( \frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{1,1\lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b$

**Gambar 4.41.** Panjang Penyaluran Batang Ulir dan Kawat Ulir  
Dimana,

$\lambda_d$  = panjang penyaluran tulangan kondisi Tarik

$d_b$  = diameter tulangan lentur yang dipakai

$\Psi_t$  = faktor lokasi penulangan

$\Psi_e$  = faktor pelapis

dimana nilai dari masing-masing faktor :

$\lambda$  = 1,0 (untuk beton berat normal)

$\Psi_t$  = 1,3 (beton segar dicor di bawah panjang penyaluran atau sambungan)

$\Psi_e$  = 1,0 (untuk tulangan tidak dilapisi dan dilapisi bahan seng/ digalvanis)

$d_b$  = 19 mm

#### Perhitungan

$$\begin{aligned}
 \lambda_d &= \frac{f_y \cdot \Psi_t \cdot \Psi_e}{2,1 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c}} \cdot d_b \\
 &= \frac{(400) \cdot (1,3) \cdot (1,0)}{2,1 \cdot (1,0) \cdot \sqrt{300}} \cdot (19) \\
 &= 858,968 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Syarat :

$$\lambda_d > 300 \text{ mm}$$

$$858,968 \text{ mm} > 300 \text{ mm} \text{ (**memenuhi**)}$$

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih) :

$$\begin{aligned}
 \lambda_{\text{reduksi}} &= \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ pasang}} \cdot \lambda_d \\
 &= \frac{271,80}{567,06} \cdot (858,968)
 \end{aligned}$$

$$= 411,72 \text{ mm}$$

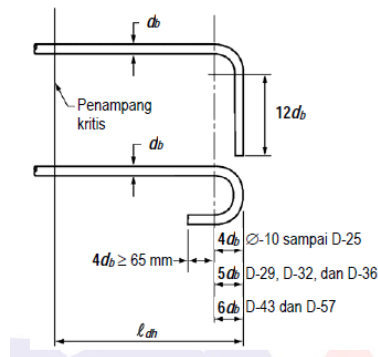
$$\approx 500 \text{ mm}$$

Maka panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tarik 500 mm.

- Penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik  
Penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik dihitung berdasarkan **SNI 03-2847-2013 pasal 12.5**. Panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi Tarik tidak boleh kurang dari 150 mm.

**(SNI 03-2847-2013 pasal 12.5.1)**

Berdasarkan SNI 03-1847-2013 pasal 12.5.2. Untuk batang tulangan ulir  $\lambda_d$  harus sebesar  $(0,24 \cdot \psi_e \cdot f_y / \lambda \cdot \sqrt{f'_c}) / d_b$  dengan  $\psi_e$  diambil sebesar 1,2 untuk tulangan dilapisi epoksi, dan  $\lambda$  diambil 0,75 untuk beton ringan. Untuk kasus lainnya,  $\psi_e$  dan  $\lambda$  harus diambil sebesar 1,0.



**Gambar 4.42.** Detail Batang Tulangan Berkait untuk Penyaluran Kait Standart

$$\lambda_{dh} = \frac{0,24 \cdot \psi_e \cdot f_y}{\lambda \cdot \sqrt{f'_c}} \times d_b$$

$$\begin{aligned} \lambda_{dh} &= \frac{0,24 \times 1,0 \times 400}{1,0 \sqrt{30}} \times 19 \\ &= 333,01 \text{ mm} \end{aligned}$$

Syarat :  $\lambda_{dh} > 150 \text{ mm}$

333,01 mm > 150 mm (**memenuhi**)

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih) :

$$\begin{aligned}\lambda_{\text{reduksi}} &= \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ pasang}} \cdot \lambda_d \\ &= \frac{271,80}{567,06} \cdot (333,01) \\ &= 159,61 \text{ mm} \\ &\approx 200 \text{ mm}\end{aligned}$$

Maka panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik 200 mm.

Panjang kait

$$12.d_b = 12.(19)$$

$$= 228 \text{ mm}$$

- Penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tekan  
Penyaluran tulangan dalam kondisi tekan dihitung berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 12.3.  
Panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tekan tidak boleh kurang dari 200 mm.

**(SNI 03-2847-2013 pasal 12.3.1)**

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 12.3.2 panjang penyaluran diambil terbesar dari :

$$\lambda_{dc} = \frac{0,24 \cdot f_y}{\lambda \cdot \sqrt{f'_c}} \times d_b$$

$$\lambda_{dc} = \frac{0,24 \cdot (400)}{1,0 \sqrt{30}} \times 13$$

$$\lambda_{dc} = 237,346 \text{ mm} \dots\dots\dots(1)$$

$$\lambda_{dc} = (0,043 \times f_y) \times d_b$$

$$\lambda_{dc} = (0,043 \times 400) \times 13$$

$$\lambda_{dc} = 223,6 \text{ mm} \dots\dots\dots(2)$$

Diambil 237,346 mm

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih) :

$$\begin{aligned}
 \lambda_{\text{reduksi}} &= \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ pasang}} \cdot \lambda_d \\
 &= \frac{170,118}{265,464} \cdot (237,346) \\
 &= 152,099 \text{ mm} \\
 &\approx 150 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Panjang kait :

$$\begin{aligned}
 4d_b + 4d_b &= 4(13) + 4(13) \\
 &= 104 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

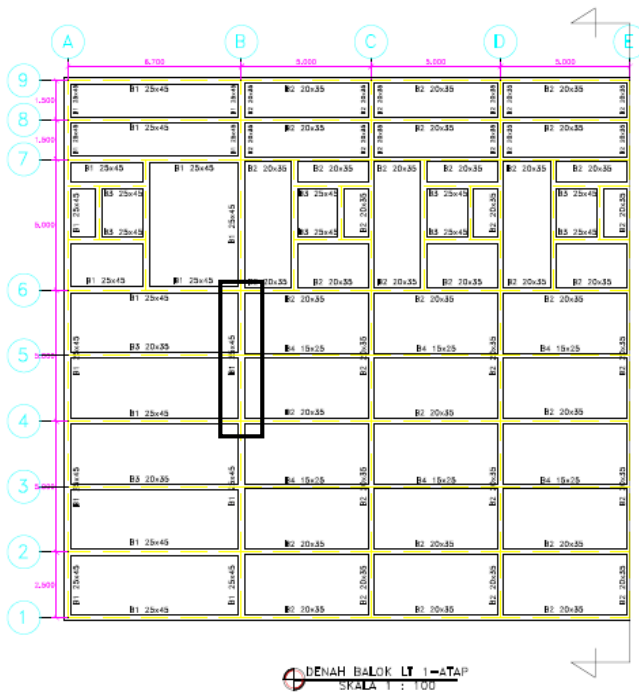
*Halaman Ini Sengaja Dikosongkan*

#### 4.4. Perhitungan Balok

##### 4.4.1. Perhitungan Balok Induk B1 As 4 A-B

❖ Data perencanaan

Perhitungan tulangan balok induk : B1 (25/45) As 4 A-B elevasi  $\pm 4,50$ . Berikut data-data perencanaan balok, gambar denah pembalokan, hasil *output* dan diagram gaya dalam dari analisa SAP 2000, ketentuan perhitungan penulangan balok dengan metode SRPMM, perhitungan serta hasil akhir gambar penampang balok adalah sebagai berikut:



**Gambar 4.43. Denah Pembalokan Lantai**

❖ Data-data penulangan balok :

Tipe balok

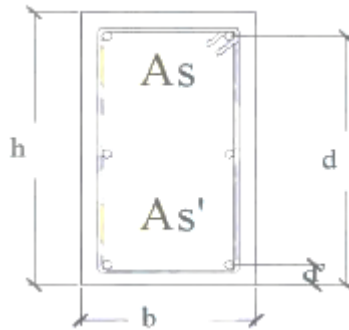
: B1 (30/50)



Frame Balok	: 89
Bentang balok	: 5000 mm
Dimensi balok (b)	: 300 mm
Dimensi balok (h)	: 500 mm
Kuat tekan beton ( $f_c'$ )	: 30 Mpa
Kuat leleh tulangan lentur ( $f_y$ )	: 400 Mpa
Kuat leleh tulangan geser ( $f_{yv}$ )	: 320 Mpa
Kuat leleh tulangan puntir ( $f_{yt}$ )	: 320 Mpa
Tebal selimut beton	: 40 mm
Diameter tulangan lentur (D)	: 19 mm
Diameter tulangan geser ( $\emptyset$ )	: 10 mm
Diameter tulangan puntir ( $\emptyset$ )	: 13 mm
Jarak spasi tulangan sejajar	: 25 mm
<b>(SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.1)</b>	
Jarak spasi tulangan antarlapis	: 25 mm
<b>(SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.2)</b>	
Tebal selimut beton ( $t_{decking}$ )	: 40 mm
<b>(SNI 03-2847-2013 pasal 7.7.1)</b>	
Faktor $\beta_1$	: 0,8375
<b>(SNI 03-2847-2013 pasal 10.2.7.(1))</b>	
Faktor reduksi kekuatan lentur	: 0,8
<b>(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(1))</b>	
Faktor reduksi kekuatan geser	: 0,75
<b>(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(3))</b>	
Faktor reduksi kekuatan puntir	: 0,75
<b>(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(3))</b>	

Maka tinggi efektif balok :

$$\begin{aligned}
 d &= h - \text{decking} - \emptyset_{\text{senggang}} - \frac{1}{2} \emptyset_{\text{lentur}} \\
 &= (500 - 40 - 10 - (\frac{1}{2} 19)) \text{ mm} \\
 &= 410,5 \text{ mm} \\
 d' &= \text{decking} + \emptyset_{\text{senggang}} + \frac{1}{2} \emptyset_{\text{lentur}} \\
 &= (40 + 10 + (\frac{1}{2} 19)) \text{ mm} \\
 &= 59,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$



**Gambar 4.44.** Tinggi Efektif Balok

- ❖ Hasil *Output* dan Diagram Gaya dalam dari analisa SAP 2000 :

Dari analisa SAP 2000, maka didapatkan hasil *output* dan diagram gaya dalam sehingga digunakan dalam proses perhitungan penulangan balok induk.

Adapun dalam pengambilan hasil *output* dan diagram gaya dalam dari analisa SAP 2000 yaitu gaya yang ditinjau harus ditentukan dan digunakan akibat dari beberapa macam kombinasi pembebanan. Kombinasi pembebanan yang digunakan terdiri dari kombinasi beban gravitasi dan kombinasi beban gempa.

Kombinasi beban gravitasi :

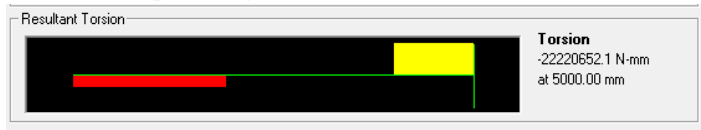
- 1,4D
- 1,2D+1,6L+1,0Lr
- 1,2D+1,6L+1,0W
- 0,9D+1,0W

Kombinasi beban gempa :

Pembebanan dari beban gravitasi dan beban gempa positif serah sumbu X.

- 1,2D+1,0L+1,0Ex+0,3Ey
- 1,2D+1,0L+0,3Ex+1,0Ey

### Hasil output diagram torsi

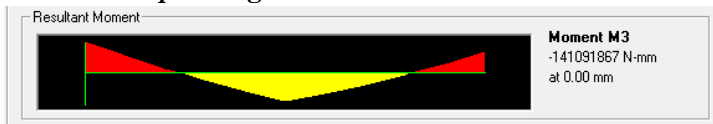


**Gambar 4.45.** Diagram Torsi Balok

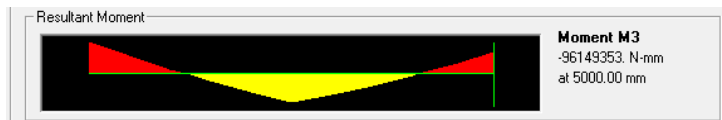
Kombinasi 1,2D+1,0L+0,3E<sub>x</sub>+1,0E<sub>y</sub>

Momen torsi = 22220652,1 N.mm

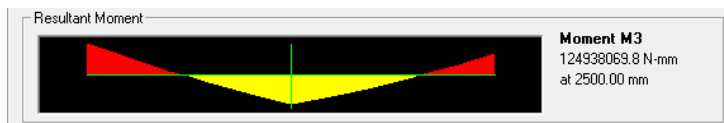
### Hasil output diagram momen lentur



**Gambar 4.46.** Diagram Momen Lentur Tumpuan Kiri Balok Induk B1 30/50



**Gambar 4.47.** Diagram Momen Lentur Tumpuan Kanan Balok Induk B1 30/50



**Gambar 4.48.** Diagram Momen Lentur Lapangan Balok Induk B1 30/50

Kombinasi 1,2D+1,0L+1,0E<sub>x</sub>+0,3E<sub>y</sub>

Momen tumpuan kiri = 141091867 N.mm

Momen tumpuan kanan = 96149353 N.mm

Kombinasi 1,2D+1,6L+0,5L<sub>r</sub>

Momen lapangan = 124938069,8 N.mm

### Hasil *output* diagram gaya geser



**Gambar 4.49.** Diagram Geser pada Tumpuan

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.2,  $V_u$  diambil tepat dari muka kolom sejauh 40 cm dari as kolom.

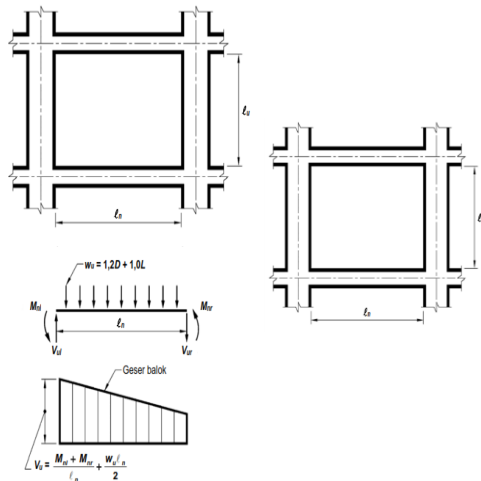
Gaya geser terfaktor  $V_u = 122541,46 \text{ N}$

- ❖ Syarat gaya aksial pada balok :  
Balok harus memenuhi definisi komponen struktur lentur. Detail penulangan SRPMM harus memenuhi ketentuan-ketentuan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.(2), bila beban aksial tekan terfaktor pada komponen struktur tidak melebihi  $(A_g \cdot f_c')/10$ .

$$\begin{aligned} A_g &= b \times h \\ &= 300 \text{ mm} \times 500 \text{ mm} \\ &= 150000 \text{ mm}^2 \\ F_c' &= 30 \text{ Mpa} \\ (A_g \cdot f_c')/10 &= ((150000) \cdot (30))/10 \\ &= 450000 \text{ N} \end{aligned}$$

Berdasarkan analisa struktur SAP 2000, gaya aksial tekan akibat kombinasi  $1,2D+1,0L+0,3E_x+1,0E_y$  pada komponen struktur sebesar  $122541,46 \text{ N} < 450000 \text{ N}$ .

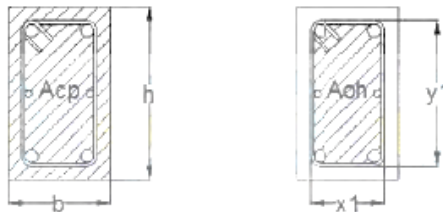
**Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3. mengenai ketentuan perhitungan penulangan balok dengan menggunakan metode sistem rangka pemikul momen menengah.**



**Gambar 4.50.** Gaya Lintang Rencana Komponen Balok pada SRPMM

**Periksa kecukupan dimensi penampang terhadap beban geser lentur dan puntir**

Ukuran penampang balok yang dipakai = 25/45



**Gambar 4.51.** Luasan  $A_{cp}$  dan  $P_{cp}$

**Luasan yang dibatasi oleh keliling luar irisan penampang beton**

$$\begin{aligned} A_{cp} &= b_{\text{balok}} \times h_{\text{balok}} \\ &= 300 \text{ mm} \times 500 \text{ mm} \\ &= 150000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Perimeter luas irisan penampang beton  $A_{cp}$ 

$$\begin{aligned}
 P_{cp} &= 2 \times (b_{balok} + h_{balok}) \\
 &= 2 \times (300 \text{ mm} + 500 \text{ mm}) \\
 &= 1600 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Luas penampang dibatasi  $A_s$  tulangan sengkang

$$\begin{aligned}
 A_{oh} &= (b_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \emptyset_{geser}) \times (h_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \emptyset_{geser}) \\
 &= (300 \text{ mm} - 2 \times 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm}) \times (500 \text{ mm} - 2 \times 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm}) \\
 &= 86100 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Keliling penampang dibatasi  $A_s$  tulangan sengkang

$$\begin{aligned}
 P_h &= 2 \times [(b_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \emptyset_{geser}) + (h_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \emptyset_{geser})] \\
 &= 2 \times [(300 \text{ mm} - 2 \times 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm}) + (500 \text{ mm} - 2 \times 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm})] \\
 &= 1240 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

**4.4.1.1. Perhitungan Penulangan Torsi**

Berdasarkan hasil *output* diagram torsi pada SAP diperoleh momen puntir terbesar :

Momen puntir ultimate

Akibat kombinasi 1,2D+1,0L+0,3E<sub>x</sub>+1,0E<sub>y</sub>

$$T_u = 22220652,1 \text{ N.mm}$$

$$V_u = 122541,46 \text{ N}$$

Momen puntir nominal

$$\begin{aligned}
 T_n &= T_u / \phi \\
 &= (22220652,1) / 0,75 \\
 &= 29627536,13 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

Pengaruh torsi dapat diabaikan bila momen puntir terfaktor  $T_u$  besarnya kurang dari pasa (SNI 03-2847:2013 pasal 11.5.1) :

$$\begin{aligned}
 T_{u \text{ min}} &= \phi \times 0,083 \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times (A_{cp}^2 / P_{cp}^2) \\
 &= 0,75 \times 0,083 \times 1 \times \sqrt{30} \times (150000^2 / 1600) \\
 &= 4794711,919 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

Sedangkan untuk momen puntir terfaktor maksimum  $T_u$  dapat diambil sebesar **(SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.2.2) :**

$$\begin{aligned} T_{u \max} &= \phi \times 0,33 \times \lambda \times \sqrt{f'_c} \times (A_{cp}^2 / P_{cp}^2) \\ &= 0,75 \times 0,33 \times 1 \times \sqrt{30} \times (150000^2 / 1600) \\ &= 19063312,45 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Cek pengaruh momen puntir :

Syarat :

$T_{u_{\min}} > T_u$  , tidak memerlukan tulangan puntir

$T_{u_{\min}} < T_u$ , memerlukan tulangan puntir

$$T_u = 22220652,1 \text{ N.mm}$$

$$T_{u_{\min}} = 4794711,919 \text{ N.mm}$$

$T_{u_{\min}} < T_u$ , **memerlukan tulangan puntir**

Jadi penampang balok memerlukan penulangan punter yang serupa sengkang-sengkang tertutup dan tulangan memanjang.

**Cek kecukupan penampang menahan momen puntir**

Dimensi penampang melintang harus menuhi ketentuan berikut : **(SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.3.1)**

$$\begin{aligned} &\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w \cdot d}\right)^2 + \left(\frac{T_u \cdot P_h}{1,7 \cdot A_{oh}}\right)^2} \leq \sqrt{\phi \left(\frac{0,16 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d}{b_w \cdot d}\right) + 0,66 \sqrt{f'_c}} \\ &\sqrt{\left(\frac{122541,46}{300.410,5}\right)^2 + \left(\frac{22220652,1.1240}{1,7.86100}\right)^2} \leq \\ &\sqrt{0,75 \cdot \left(\frac{0,16 \cdot \sqrt{30} \cdot 300.410,5}{300.410,5}\right) + 0,66 \sqrt{30}} \end{aligned}$$

$1,464 \leq 2,066$  (**penampang balok mencukupi untuk menahan momen puntir**)

### **Tulangan puntir untuk lentur**

Tulangan longitudinal tambahan yang diperlukan untuk menahan puntir direncanakan berdasarkan persamaan berikut :

$$A_l = \frac{A_t}{s} \cdot P_h \cdot \frac{f_y}{f_{yt}} \cdot \cot^2 \phi$$

#### **(SNI 02-2847-2013 pasal 11.5.3.7)**

Dengan  $A_t/s$  dihitung daripersamaan di bawah ini :

$$T_n = \frac{2 \times A_o \times A_t \times f_{yt}}{s} \times \cot \phi$$

Untuk beton non-prategang  $\phi = 45^\circ$

#### **(SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.3.6)**

Dimana,

$$\begin{aligned} A_o &= 0,85 \times A_{oh} \\ &= 0,85 \times 86100 \text{ mm}^2 \\ &= 73185 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (A_t/s) &= (29627536,13)/(2 \times 73185 \times 320 \times \cot 45) \\ &= 0,63 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka tulangan puntir untuk lentur :

$$\begin{aligned} A_l &= 0,63 \times 1240 \times (400/320) \cdot (\cot^2 45) \\ &= 976,5 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tetapi tidak boleh kurang dari **(SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.5.3)**

$$\begin{aligned} A_{lmin} &= \frac{0,42 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot A_{cp}}{f_y} - \left( \frac{A_t}{s} \cdot P_h \cdot \frac{f_{yt}}{f_y} \right) \\ A_{lmin} &= \frac{0,42 \cdot \sqrt{30} \cdot 150000}{400} - \left( 0,63 \cdot 1240 \cdot \frac{320}{400} \right) \\ &= 299,3 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dengan  $(A_t/s)$  tidak boleh kurang dari  $(0,175 \cdot (b_w/f_{yt}))$   
 $0,175 \cdot (300/320) = 0,164$

Maka nilai  $(A_t/s) = 0,63 > 0,164$  **(memenuhi)**

Kontrol :

$A_{l\text{perlu}} \leq A_{l\text{min}}$ , maka gunakan  $A_{l\text{min}}$

$A_{l\text{perlu}} \geq A_{l\text{min}}$ , maka gunakan  $A_{l\text{perlu}}$



$$976,5 \text{ mm}^2 \geq 299,3 \text{ mm}^2 \text{ (gunakan } A_{I \text{ perlu}})$$

Maka digunakan tulangan puntir perlu sebesar  $976,5 \text{ mm}^2$ .

**Luasan tulangan puntir untuk arah memanjang dibagi merata keempat sisi pada penampang balok**

$$(A_I/4) = (976,5 \text{ mm}^2)/4 = 244,2 \text{ mm}^2$$

Penulangan torsi pada tulangan memanjang :

Pada sisi atas = disalurkan pada tulangan tarik balok

Pada sisi bawah = disalurkan pada tulangan tekan balok

**Maka masing-masing sisi atas dan bawah balok mendapat tambahan luasan puntir sebesar  $198,45 \text{ mm}^2$**

Pada sisi kanan dan kiri = dipasang tulangan puntir sebesar :

$$\begin{aligned} 2.(A_I/4) &= 2.(976,5 \text{ mm}^2)/4 \\ &= 488,25 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

**Jumlah tulangan pasang puntir longitudinal (sisi tengah)**

$$\begin{aligned} n &= (A_s/\text{Luasan D puntir}) \\ &= (488,25)/(0,25 \times \pi \times 13^2) \\ &= 3,67 \approx 4 \text{ buah} \end{aligned}$$

Dipasang tulangan puntir 4D13

**Luasan tulangan pasang puntir longitudinal (sisi tengah)**

$$\begin{aligned} A_s &= n \times \text{Luasan D tulangan puntir} \\ &= 4 \times 0,25 \times \pi \times 13^2 \\ &= 530,93 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$A_s \text{ pasang} \geq A_s \text{ perlu}$$

$$530,93 \text{ mm}^2 \geq 488,25 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Sehingga dipasang tulangan puntir di tumpuan kiri, lapangan, dan tumpuan kanan sebesar 4D13.

#### 4.4.1.2. Perhitungan Penulangan Lentur

##### Daerah Tumpuan Kiri

Diambil momen yang terbesar, akibat kombinasi :

$$1,2D+1,0L+1,0E_x+0,3E_y$$

##### Garis netral dalam kondisi *balance*

$$\begin{aligned} X_b &= (600/(600+f_y)) \times d \\ &= (600/(600+400)) \times 410,5 \\ &= 246,3 \text{ mm} \end{aligned}$$

##### Garis netral maksimum

$$\begin{aligned} X_{\max} &= 0,75 \times X_b \\ &= 0,75 \times 246,3 \text{ mm} \\ &= 184,725 \text{ mm} \end{aligned}$$

##### Garis netral minimum

$$\begin{aligned} X_{\min} &= d' \\ &= 59,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

##### Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{\text{rencana}} = 150 \text{ mm}$$

##### Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned} C_c' &= 0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_{\text{rencana}} \\ &= 0,85 \times 30 \times 300 \times 0,8375 \times 150 \\ &= 961031,25 \text{ N} \end{aligned}$$

##### Luasan tulangan tarik

$$\begin{aligned} A_{sc} &= C_c' / f_y \\ &= 961031,25 / 400 \\ &= 2402,58 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

##### Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned} M_{nc} &= A_{sc} \times f_y \times (d - (\beta_1 \times X_{\text{rencana}}/2)) \\ &= 2402,58 \times 400 \times (410,5 - ((0,8375 \times 150)/2)) \end{aligned}$$

$$= 334138813,5 \text{ N.mm}$$

Momen lentur nominal ( $M_n$ )

$$M_{u_{tump}} = 29627536,1 \text{ N.mm}$$

$$\begin{aligned} M_n &= 29627536,1 \text{ N.mm}/0,8 \\ &= 37034420,13 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0$ , maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0$ , maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned} M_{ns} &= M_n - M_{nc} \\ &= 37034420,13 - 334138813,5 \\ &= -297104393,4 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Maka,  $M_{ns} \leq 0$  (**tidak perlu tulangan lentur tekan**)

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal.

➤ **Perencanaan tulangan lentur tunggal**

Diketahui :

$$f_y = 400 \text{ Mpa}$$

$$f_c' = 30 \text{ Mpa}$$

$$\beta = 0,8375$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_{balance} = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta}{f_y} + \frac{600}{600 + f_y}$$

$$\begin{aligned} \rho_{balance} &= \frac{(0,85) \cdot (30) \cdot (0,8375)}{400} + \frac{600}{600 + 400} \\ &= 0,653 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{max} &= 0,75 \times \rho_{balance} \\ &= 0,75 \times 0,653 \\ &= 0,0244 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} \\ &= \frac{400}{0,85 \cdot (30)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 15,69 \\
 M_u &= 29627536,1 \text{ N.mm} \\
 \phi &= 0,8 \\
 d &= 410,5 \text{ mm} \\
 b &= 300 \text{ mm} \\
 M_n &= (M_u)/\phi \\
 &= (29627536,1 \text{ N.mm})/(0,8) \\
 &= 37034420,13 \text{ N.mm} \\
 R_n &= (M_n)/(b.d^2) \\
 &= (37034420,13 \text{ N.mm})/((300)(410,5^2)) \\
 &= 0,732 \\
 \rho &= \frac{1}{m} \cdot \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2.m.R_n}{f_y}} \right] \\
 &= \frac{1}{15,69} \cdot \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2.(15,69).(0,732)}{400}} \right] \\
 &= 0,00185 \\
 \text{Syarat, } \rho_{\min} < \rho < \rho_{\max} \\
 0,00185 < 0,0056 < 0,0244 \text{ (OK)} \\
 \text{Maka } \rho &= 0,0056
 \end{aligned}$$

#### Luasan perlu tulangan lentur tarik

$$\begin{aligned}
 A_s &= \rho \times b \times d \\
 &= (0,0056).(300 \text{ mm}).(410,5 \text{ mm}) \\
 &= 689,64 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Luasan tulangan perlu lentur ditambah luasan tambahan torsi longitudinal untuk lentur :

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ perlu}} &= A_s + (A_t/4) \\
 &= 689,64 + 244,2 \\
 &= 933,84 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

#### Jumlah tulangan lentur tarik pakai (sisi atas)

$$\begin{aligned}
 n &= A_{s \text{ perlu}} / \text{Luasan D lentur} \\
 &= 933,84 / (0,25 \times \pi \times 19^2) \\
 &= 3,29 \approx 4 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan lentur 4D19

Luasan tulangan lentur Tarik pasang (sisi atas)

$$\begin{aligned} A_{s \text{ pasang}} &= n_{\text{pasang}} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 4 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\ &= 1134,11 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} A_{s \text{ pasang}} &\geq A_{s \text{ perlu}} \\ 1134,11 \text{ mm}^2 &\geq 933,84 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

Luasan pasang ( $A_s'$ ) tulangan lentur tekan

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.1 luasan tulangan tidak boleh kurang dari 0,3 tulangan Tarik

$$\begin{aligned} A_{s'} &= 0,3 \times A_s \\ &= 0,3 \times 1134,11 \text{ mm}^2 \\ &= 340,23 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan lentur tekan pakai (sisi bawah)

$$\begin{aligned} n &= A_{s \text{ perlu}} / \text{Luasan D lentur} \\ &= 340,33 / (0,25 \times \pi \times 19^2) \\ &= 1,2 \approx 2 \text{ buah} \end{aligned}$$

Luasan tulangan lentur tekan pasang (sisi bawah)

$$\begin{aligned} A_{s \text{ pasang}} &= n_{\text{pasang}} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\ &= 567,057 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol jarak spasi tulangan pakai

Syarat :

$$S_{\text{max}} \geq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm, susun 1 lapis}$$

$$S_{\text{max}} \leq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm, susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan dipakai tulangan tarik satu lapis 4D19 dan tulangan tekan 2D13.

Kontrol tulangan tarik

$$S_{\max} = \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times \phi_{\text{geser}}) - (n \times D)}{n - 1}$$

$$S_{\max} = \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (4 \times 19)}{4 - 1}$$

$$= 41,33 \text{ mm}$$

$$S_{\max} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

$$41,33 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \text{ (**memenuhi**)}$$

Kontrol tulangan tekan

$$S_{\text{tekan}} = \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times \phi_{\text{geser}}) - (n \times D)}{n - 1}$$

$$S_{\text{tekan}} = \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 19)}{2 - 1}$$

$$= 162 \text{ mm}$$

$$S_{\max} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

$$162 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \text{ (**memenuhi**)}$$

Maka dipakai tulangan lentur balok induk B1 (30/50) untuk daerah tumpuan kiri :

- Tulangan lentur tarik susun 1 lapis  
Lapis 1 = 4D19
- Tulangan lentur tekan susun 1 lapis  
Lapis 1 = 2D19

### **Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok**

Kuat momen lentur positif balok pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari sperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka-muka kolom di kedua ujung komponen tersebut. M lentur tumpuan (+)  $\geq 1/3 \times M$  lentur tumpuan (-).

**[SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.(1)]**

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= n_{\text{pasang}} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 4 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\ &= 1134,11 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s' \text{ pasang} &= n_{\text{pasang}} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\ &= 567,057 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq (1/3) M \text{ lentur tumpuan (-)}$$

$$567,057 \geq (1/3) 1134,11$$

$$567,057 \geq 378,037 \text{ (memenuhi)}$$

Jadi pada daerah tumpuan kiri, dipasang tulangan :

$$\text{Tulangan tarik} = 4D19$$

$$\text{Tulangan tekan} = 2D19$$

**Kontrol kemampuan penampang**

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \\ &= \frac{(1134,11) \cdot (400)}{0,85 \times (30) \times (300)} \\ &= 59,30 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n \text{ pasang} &= A_s \cdot f_y \cdot (d - (a/2)) \\ &= (1134,11) \cdot (400) \cdot (410,5 - (59,30/2)) \\ &= 172770317,4 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi \cdot M_n \text{ pasang} &= 0,8 \times 172770317,4 \\ &= 138216253,9 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

$$M_u \text{ perlu} = 29627536,1 \text{ N.mm}$$

$$\phi \cdot M_n \text{ pasang} \geq M_u \text{ perlu}$$

$$138216253,9 \text{ N.mm} \geq 29627536,1 \text{ N.mm (memenuhi)}$$

Jadi penulangan lentur untuk balok B1 (30/50) pada daerah tumpuan kiri dipakai tulangan tarik 4D19 dan tulangan tekan 2D19 dengan susunan sebagai berikut :

- **Tulangan lentur tarik susun 1 lapis**  
Lapis 1 = 4D19
- **Tulangan lentur tekan susun 1 lapis**

$$\text{Lapis 1} = 2D19$$

### **Daerah Tumpuan Kanan**

Diambil momen yang terbesar, akibat kombinasi :

$$1,2D+1,0L+1,0E_x+0,3E_y$$

### **Garis netral dalam kondisi *balance***

$$\begin{aligned} X_b &= (600/(600+f_y)) \times d \\ &= (600/(600+400)) \times 410,5 \\ &= 246,3 \text{ mm} \end{aligned}$$

### **Garis netral maksimum**

$$\begin{aligned} X_{\max} &= 0,75 \times X_b \\ &= 0,75 \times 246,3 \text{ mm} \\ &= 184,725 \text{ mm} \end{aligned}$$

### **Garis netral minimum**

$$\begin{aligned} X_{\min} &= d' \\ &= 59,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

### **Garis netral rencana (asumsi)**

$$X_{\text{rencana}} = 150 \text{ mm}$$

### **Komponen beton tertekan**

$$\begin{aligned} C_c' &= 0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_{\text{rencana}} \\ &= 0,85 \times 30 \times 300 \times 0,8375 \times 150 \\ &= 961031,25 \text{ N} \end{aligned}$$

### **Luasan tulangan tarik**

$$\begin{aligned} A_{sc} &= C_c' / f_y \\ &= 961031,25 / 400 \\ &= 2402,58 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

### **Momen nominal tulangan lentur tunggal**

$$\begin{aligned} M_{nc} &= A_{sc} \times f_y \times (d - (\beta_1 \times X_{\text{rencana}}/2)) \\ &= 2402,58 \times 400 \times (410,5 - ((0,8375 \times 150)/2)) \\ &= 334138813,5 \text{ N.mm} \end{aligned}$$



Momen lentur nominal (Mn)

$$\begin{aligned} M_{u_{tump}} &= 96149353 \text{ N.mm} \\ M_n &= 96149353 \text{ N.mm}/0,8 \\ &= 120186691,3 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0$ , maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0$ , maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned} M_{ns} &= M_n - M_{nc} \\ &= 120186691,3 - 334138813,5 \\ &= -213952122,3 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Maka,  $M_{ns} \leq 0$  (**tidak perlu tulangan lentur tekan**)

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal.

➤ **Perencanaan tulangan lentur tunggal**

Diketahui :

$$f_y = 400 \text{ Mpa}$$

$$f_c' = 30 \text{ Mpa}$$

$$\beta = 0,8375$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_{\text{balance}} = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta}{f_y} + \frac{600}{600 + f_y}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{balance}} &= \frac{(0,85) \cdot (30) \cdot (0,8375)}{400} + \frac{600}{600 + 400} \\ &= 0,653 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= 0,75 \times \rho_{\text{balance}} \\ &= 0,75 \times 0,653 \\ &= 0,0244 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} \\ &= \frac{400}{0,85 \cdot (30)} \\ &= 15,69 \end{aligned}$$

$$M_u = 96149353 \text{ N.mm}$$

$$\begin{aligned}
 \phi &= 0,8 \\
 d &= 410,5 \text{ mm} \\
 b &= 300 \text{ mm} \\
 M_n &= (M_u)/\phi \\
 &= (96149353 \text{ N.mm})/(0,8) \\
 &= 120186691,3 \text{ N.mm} \\
 R_n &= (M_n)/(b.d^2) \\
 &= (120186691,3 \text{ N.mm})/((300)(410,5^2)) \\
 &= 2,377 \\
 \rho &= \frac{1}{m} \cdot \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2.m.R_n}{f_y}} \right] \\
 &= \frac{1}{15,69} \cdot \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2.(15,69).(2,377)}{400}} \right] \\
 &= 0,0062
 \end{aligned}$$

Syarat,  $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$   
 $0,0035 < 0,0062 < 0,0244$  (**OK**)

Maka  $\rho = 0,0062$

Luasan perlu tulangan lentur tarik

$$\begin{aligned}
 A_s &= \rho \times b \times d \\
 &= (0,0062) \cdot (300 \text{ mm}) \cdot (410,5 \text{ mm}) \\
 &= 763,53 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Luasan tulangan perlu lentur ditambah luasan tambahan torsi longitudinal untuk lentur :

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ perlu}} &= A_s + (A_t/4) \\
 &= 763,53 + 244,2 \\
 &= 1007,73 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan lentur tarik pakai (sisi atas)

$$\begin{aligned}
 n &= A_{s \text{ perlu}} / \text{Luasan D lentur} \\
 &= 1007,73 / (0,25 \times \pi \times 19^2) \\
 &= 3,55 \approx 4 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan lentur 4D19

Luasan tulangan lentur Tarik pasang (sisi atas)

$$A_{s \text{ pasang}} = n_{\text{pasang}} \times \text{luasan D lentur}$$

$$= 4 \times 0,25 \times \pi \times 19^2$$

$$= 1134,11 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

$A_s \text{ pasang} \geq A_s \text{ perlu}$

$1134,11 \text{ mm}^2 \geq 1007,73 \text{ mm}^2$  (**memenuhi**)

Luasan pasang ( $A_s'$ ) tulangan lentur tekan

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.1 luasan tulangan tidak boleh kurang dari 0,3 tulangan Tarik

$$A_s' = 0,3 \times A_s$$

$$= 0,3 \times 1134,11 \text{ mm}^2$$

$$= 340,23 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan lentur tekan pakai (sisi bawah)

$$n = A_s \text{ perlu} / \text{Luasan D lentur}$$

$$= 340,23 / (0,25 \times \pi \times 19^2)$$

$$= 1,19 \approx 2 \text{ buah}$$

Luasan tulangan lentur tekan pasang (sisi bawah)

$$A_s \text{ pasang} = n_{\text{pasang}} \times \text{luasan D lentur}$$

$$= 2 \times 0,25 \times \pi \times 19^2$$

$$= 567,057 \text{ mm}^2$$

Kontrol jarak spasi tulangan pakai

Syarat :

$S_{\max} \geq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm}$ , susun 1 lapis

$S_{\max} \leq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm}$ , susun lebih dari 1 lapis

Direncanakan dipakai tulangan tarik satu lapis 4D19 dan tulangan tekan 2D19.

Kontrol tulangan tarik

$$S_{\max} = \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times \phi_{\text{geser}}) - (n \times D)}{n - 1}$$

$$S_{\max} = \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (4 \times 19)}{4 - 1}$$

$$= 41,33 \text{ mm}$$

$$S_{\max} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

41,33 mm  $\geq$  25 mm (**memenuhi**)

Kontrol tulangan tekan

$$S_{\text{tekan}} = \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times \phi_{\text{geser}}) - (n \times D)}{\frac{n-1}{2}}$$

$$S_{\text{tekan}} = \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 19)}{2 - 1}$$

$$= 162 \text{ mm}$$

$S_{\text{max}} \geq S_{\text{syarat agregat}}$

162 mm > 25 mm (**memenuhi**)

Maka dipakai tulangan lentur balok induk B1 (30/50) untuk daerah tumpuan kanan :

- Tulangan lentur tarik susun 1 lapis  
Lapis 1 = 4D19
- Tulangan lentur tekan susun 1 lapis  
Lapis 1 = 2D19

### **Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok**

Kuat momen lentur positif balok pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari sperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka-muka kolom di kedua ujung komponen tersebut.  $M_{\text{lentur tumpuan (+)}} \geq 1/3 \times M_{\text{lentur tumpuan (-)}}$ .

**[SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.(1)]**

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$A_s_{\text{pasang}} = n_{\text{pasang}} \times \text{luasan } D \text{ lentur}$$

$$= 4 \times 0,25 \times \pi \times 19^2$$

$$= 1134,11 \text{ mm}^2$$

$$A_s'_{\text{pasang}} = n_{\text{pasang}} \times \text{luasan } D \text{ lentur}$$

$$= 2 \times 0,25 \times \pi \times 19^2$$

$$= 567,057 \text{ mm}^2$$

M lentur tumpuan (+)  $\geq$  (1/3) M lentur tumpuan (-)

$$567,057 \geq (1/3) 1134,11$$

$$567,057 \geq 378,037 \text{ (**memenuhi**)}$$

Jadi pada daerah tumpuan kanan, dipasang tulangan :

$$\text{Tulangan tarik} = 4\text{D}19$$

$$\text{Tulangan tekan} = 2\text{D}19$$

### **Kontrol kemampuan penampang**

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \\ &= \frac{(1134,11) \cdot (400)}{0,85 \times (30) \times (300)} \\ &= 59,30 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n \text{ pasang} &= A_s \cdot f_y \cdot (d - (a/2)) \\ &= (1134,11) \cdot (400) \cdot (410,5 - (59,30/2)) \\ &= 172770317,4 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi \cdot M_n \text{ pasang} &= 0,8 \times 172770317,4 \\ &= 138216253,9 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

$$M_u \text{ perlu} = 96149353 \text{ N.mm}$$

$$\phi \cdot M_n \text{ pasang} \geq M_u \text{ perlu}$$

$$138216253,9 \text{ N.mm} \geq 96149353 \text{ N.mm} \text{ (**memenuhi**)}$$

Jadi penulangan lentur untuk balok induk B1 30/50) pada daerah tumpuan kanan dipakai tulangan tarik 4D19 dan tulangan tekan 2D19 dengan susunan sebagai berikut :

- **Tulangan lentur tarik susun 1 lapis**

$$\text{Lapis 1} = 4\text{D}19$$

- **Tulangan lentur tekan susun 1 lapis**

$$\text{Lapis 1} = 2\text{D}19$$

### **Daerah Lapangan**

Diambil momen yang terbesar, akibat kombinasi :

$$1,2\text{D}+1,0\text{L}+1,0\text{E}_x+0,3\text{E}_y$$

Garis netral dalam kondisi *balance*

$$\begin{aligned} X_b &= (600 / (600 + f_y)) \times d \\ &= (600 / (600 + 400)) \times 410,5 \end{aligned}$$

$$= 246,3 \text{ mm}$$

Garis netral maksimum

$$\begin{aligned} X_{\max} &= 0,75 \times X_b \\ &= 0,75 \times 246,3 \text{ mm} \\ &= 184,725 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral minimum

$$\begin{aligned} X_{\min} &= d' \\ &= 59,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{\text{rencana}} = 150 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned} C_c' &= 0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_{\text{rencana}} \\ &= 0,85 \times 30 \times 300 \times 0,8375 \times 150 \\ &= 961031,25 \text{ N} \end{aligned}$$

Luasan tulangan tarik

$$\begin{aligned} A_{sc} &= C_c' / f_y \\ &= 961031,25 / 400 \\ &= 2402,58 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned} M_{nc} &= A_{sc} \times f_y \times (d - (\beta_1 \times X_{\text{rencana}}/2)) \\ &= 2402,58 \times 400 \times (410,5 - ((0,8375 \times 150)/2)) \\ &= 334138813,5 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Momen lentur nominal (Mn)

$$\begin{aligned} \mu_{lap} &= 124938069,8 \text{ N.mm} \\ Mn &= 124938069,8 \text{ N.mm} / 0,8 \\ &= 156172587,3 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0$ , maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0$ , maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned}
 M_{ns} &= M_n - M_{nc} \\
 &= 156172587,3 - 334138813,5 \\
 &= -177966226,3 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

Maka,  $M_{ns} \leq 0$  (**tidak perlu tulangan lentur tekan**)  
 Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal.

➤ **Perencanaan tulangan lentur tunggal**

Diketahui :

$$f_y = 400 \text{ Mpa}$$

$$f_c' = 30 \text{ Mpa}$$

$$\beta = 0,8375$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_{\text{balance}} = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta}{f_y} + \frac{600}{600 + f_y}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{balance}} &= \frac{(0,85) \cdot (30) \cdot (0,8375)}{400} + \frac{600}{600 + 400} \\
 &= 0,653
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \rho_{\max} &= 0,75 \times \rho_{\text{balance}} \\
 &= 0,75 \times 0,653 \\
 &= 0,0244
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 m &= \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} \\
 &= \frac{400}{0,85 \cdot (30)} \\
 &= 15,69
 \end{aligned}$$

$$M_u = 124938069,8 \text{ N.mm}$$

$$\phi = 0,8$$

$$d = 410,5 \text{ mm}$$

$$b = 300 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 M_n &= (M_u) / \phi \\
 &= (124938069,8 \text{ N.mm}) / (0,8) \\
 &= 156172587,3 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 R_n &= (M_n) / (b \cdot d^2) \\
 &= (156172587,3 \text{ N.mm}) / ((300)(410,5^2))
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 3,08 \\
 \rho &= \frac{1}{m} \cdot \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right] \\
 &= \frac{1}{15,69} \cdot \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot (15,69) \cdot (3,08)}{400}} \right] \\
 &= 0,0082
 \end{aligned}$$

Syarat,  $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$   
 $0,0035 < 0,0082 < 0,0244$  (**OK**)

Maka  $\rho = 0,0082$

Luasan perlu tulangan lentur tarik

$$\begin{aligned}
 A_s &= \rho \times b \times d \\
 &= (0,0082) \cdot (300 \text{ mm}) \cdot (410,5 \text{ mm}) \\
 &= 1009,83 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Luasan tulangan perlu lentur ditambah luasan tambahan torsi longitudinal untuk lentur :

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ perlu}} &= A_s + (A_t/4) \\
 &= 1009,83 + 244,2 \\
 &= 1254,03 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan lentur tarik pakai (sisi atas)

$$\begin{aligned}
 n &= A_{s \text{ perlu}} / \text{Luasan D lentur} \\
 &= 1254,03 / (0,25 \times \pi \times 19^2) \\
 &= 4,42 \approx 5 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan lentur 5D19

Luasan tulangan lentur Tarik pasang (sisi atas)

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ pasang}} &= n_{\text{pasang}} \times \text{luasan D lentur} \\
 &= 5 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\
 &= 1417,64 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ pasang}} &\geq A_{s \text{ perlu}} \\
 1417,64 \text{ mm}^2 &\geq 1254,3 \text{ mm}^2 \text{ (**memenuhi**)}
 \end{aligned}$$



Luasan pasang ( $A_s'$ ) tulangan lentur tekan

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.1 luasan tulangan tidak boleh kurang dari 0,3 tulangan Tarik

$$\begin{aligned} A_s' &= 0,3 \times A_s \\ &= 0,3 \times 1417,64 \text{ mm}^2 \\ &= 425,29 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan lentur tekan pakai (sisi bawah)

$$\begin{aligned} n &= A_{s \text{ perlu}} / \text{Luasan D lentur} \\ &= 425,29 / (0,25 \times \pi \times 19^2) \\ &= 1,5 \approx 2 \text{ buah} \end{aligned}$$

Luasan tulangan lentur tekan pasang (sisi bawah)

$$\begin{aligned} A_{s \text{ pasang}} &= n_{\text{pasang}} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\ &= 567,057 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol jarak spasi tulangan pakai

Syarat :

$$S_{\max} \geq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm, susun 1 lapis}$$

$$S_{\max} \leq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm, susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan dipakai tulangan tarik satu lapis 5D19 dan tulangan tekan 2D19.

Kontrol tulangan tarik

$$\begin{aligned} S_{\max} &= \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times \phi_{\text{geser}}) - (n \times D)}{n - 1} \\ S_{\max} &= \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (5 \times 19)}{5 - 1} \\ &= 26,25 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S_{\max} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

$$26,25 \text{ mm} > 25 \text{ mm (memenuhi)}$$

Kontrol tulangan tekan

$$S_{\text{tekan}} = \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times \phi_{\text{geser}}) - (n \times D)}{n - 1}$$

$$S_{\text{tekan}} = \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 19)}{2 - 1}$$

$$= 162 \text{ mm}$$

$$S_{\text{max}} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

$$162 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \text{ (**memenuhi**)}$$

Maka dipakai tulangan lentur balok induk B1 (30/50) untuk daerah lapangan :

- Tulangan lentur tarik susun 1 lapis  
Lapis 1 = 5D19
- Tulangan lentur tekan susun 1 lapis  
Lapis 1 = 2D19

### **Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok**

Kuat momen lentur positif balok pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari sperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka-muka kolom di kedua ujung komponen tersebut.  $M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq 1/3 \times M \text{ lentur tumpuan (-)}$ .

#### **[SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.(1)]**

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$A_{S \text{ pasang}} = n_{\text{pasang}} \times \text{luasan } D \text{ lentur}$$

$$= 5 \times 0,25 \times \pi \times 19^2$$

$$= 1417,64 \text{ mm}^2$$

$$A_{S' \text{ pasang}} = n_{\text{pasang}} \times \text{luasan } D \text{ lentur}$$

$$= 2 \times 0,25 \times \pi \times 19^2$$

$$= 567,057 \text{ mm}^2$$

$$M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq (1/3) M \text{ lentur tumpuan (-)}$$

$$567,057 \geq (1/3) 1417,64$$

$$567,057 \geq 472,55 \text{ (**memenuhi**)}$$

Jadi pada daerah lapangan, dipasang tulangan :

Tulangan tarik = 5D19

Tulangan tekan = 2D19

### Kontrol kemampuan penampang

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \times f'_c \times b}$$

$$= \frac{(1417,64) \cdot (400)}{0,85 \times (30) \times (300)}$$

$$= 74,12 \text{ mm}$$

$$M_n \text{ pasang} = A_s \cdot f_y \cdot (d - (a/2))$$

$$= (1417,64) \cdot (400) \cdot (410,5 - (74,12/2))$$

$$= 211761392,6 \text{ N.mm}$$

$$\phi \cdot M_n \text{ pasang} = 0,8 \times 211761392,6$$

$$= 169409114,1 \text{ N.mm}$$

$$M_u \text{ perlu} = 124938069,8 \text{ N.mm}$$

$$\phi \cdot M_n \text{ pasang} \geq M_u \text{ perlu}$$

$$169409114,1 \text{ N.mm} \geq 124938069,8 \text{ N.mm} \text{ (memenuhi)}$$

Jadi penulangan lentur untuk balok induk B1 (30/50) pada daerah lapangan dipakai tulangan tarik 5D19 dan tulangan tekan 2D19 dengan susunan sebagai berikut :

- **Tulangan lentur tarik susun 1 lapis**  
Lapis 1 = 5D19
- **Tulangan lentur tekan susun 1 lapis**  
Lapis 1 = 2D19

#### 4.4.1.3. Perhitungan Penulangan Geser

Tipe balok : B1 (30/50)

Dimensi balok (b) : 300 mm

Dimensi balok (h) : 500 mm

Kuat tekan beton ( $f'_c$ ) : 30 Mpa

Kuat leleh tulangan geser ( $f_{yv}$ ) : 320 Mpa

Diameter tulangan geser ( $\emptyset$ ) : 10 mm

$\beta_1$  : 0,8375

Faktor reduksi kekuatan geser : 0,75

Berdasarkan perhitungan tulangan lentur pada balok bordes (25/45) elevasi +4,50, didapat :

### *Momen Nominal Kiri*

Momen nominal kiri diperoleh dari hasil perhitungan tulangan lentur tumpuan kiri dengan luasan tulangan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \\
 &= \frac{(1134,11) \cdot (400)}{0,85 \times (30) \times (300)} \\
 &= 59,30 \text{ mm} \\
 M_n \text{ pasang} &= A_s \cdot f_y \cdot (d - (a/2)) \\
 &= (1134,11) \cdot (400) \cdot (410,5 - (59,30/2)) \\
 &= 172770317,4 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

### *Momen Nominal Kanan*

Momen nominal kanan diperoleh dari hasil perhitungan tulangan lentur tumpuan kanan dengan luasan tulangan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \\
 &= \frac{(1134,11) \cdot (400)}{0,85 \times (30) \times (300)} \\
 &= 59,30 \text{ mm} \\
 M_n \text{ pasang} &= A_s \cdot f_y \cdot (d - (a/2)) \\
 &= (1134,11) \cdot (400) \cdot (410,5 - (59,30/2)) \\
 &= 172770317,4 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil *output* dan diagram gaya dalam akibat kombinasi  $1,2D+1,0L+0,3E_x+1,0E_y$  dari analisa SAP 2000 didapatkan :

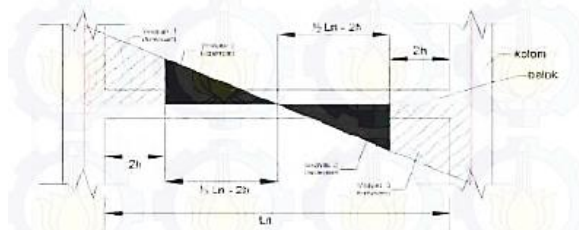
Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.2,  $V_u$  diambil tepat dari muka kolom :

Gaya geser terfaktor  $V_u = 122541,46 \text{ N}$

### Pembagian Wilayah Geser Balok

Dalam perhitungan tulangan geser (sengkang) pada balok, wilayah balok dibagi menjadi 3 wilayah yaitu :

- Wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan), sejarak dua kali tinggi balok dari muka kolom ke arah tengah bentang (**SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4.2**)
- Wilayah 2 (daerah lapangan), dimulai dari wilayah 1 atau 3 ke  $\frac{1}{2}$  bentang balok.



**Gambar 4.52.** Pembagian Wilayah Geser pada Balok

$$\sqrt{f_c'} < (25/3)$$

$$\sqrt{30} < 8,33$$

$$5,477 < 8,33 \text{ (memenuhi)}$$

Kuat geser beton (SNI 03-2847-2013 Pasal 11.2.1.1)

$$\begin{aligned} V_C &= 0,17 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d \\ &= 0,17 \times \sqrt{30} \times 300 \times 410,5 \\ &= 114668,5 \text{ N} \end{aligned}$$

Kuat geser tulangan geser

$$\begin{aligned} V_{S \min} &= 0,33 \times b \times d \\ &= 0,33 \times 300 \times 410,5 \\ &= 40639,5 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{S \max} &= 0,33 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d \\ &= 0,33 \times \sqrt{30} \times 300 \times 410,5 \\ &= 105014,846 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2. V_{S \max} &= 0,66 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d \\ &= 0,66 \times \sqrt{30} \times 300 \times 410,5 \\ &= 445183,418 \text{ N} \end{aligned}$$

Penulangan geser balok

1. Pada wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan)

Gaya geser diperoleh dari :

$$V_{u1} = \frac{M_{nl} + M_{nr}}{L_n} + \frac{W_u \times L_n}{2}$$

$$V_{u1} = \frac{M_{nl} + M_{nr}}{L_n} + V_u$$

**(SNI 03-2847-2013 pasal 21.3)**

Dimana :

$V_{U1}$  = Gaya geser pada muka perletakan

$M_{nl}$  = Momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kiri)

$M_{nr}$  = Momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kanan)

$L_n$  = Panjang balok

Maka :

$$V_{u1} = \frac{172770317,4 + 172770317,4}{5000} + 122541,46$$

$$= 191649,587 \text{ N}$$

Kondisi 1

$V_U \leq 0,5 \phi V_C$ , tidak perlu tulangan geser

$$V_U = 191649,587 \text{ N}$$

$$0,5 \phi V_C = 0,5 \cdot (0,75) \cdot (114668,5)$$

$$= 43000,69 \text{ N}$$

$191649,587 \text{ N} > 43000,69 \text{ N}$  (**Tidak memenuhi**)

Kondisi 2

$0,5 \phi V_C \leq V_U \leq \phi V_C$ , tulangan geser

$$0,5 \phi V_C = 0,5 \cdot (0,75) \cdot (114668,5)$$

$$= 43000,69 \text{ N}$$

$$\phi V_C = (0,75) \cdot (114668,5)$$

$$= 86001,4 \text{ N}$$

$$V_U = 191649,587 \text{ N}$$

$43000,69 \text{ N} \leq 191649,587 \text{ N} > 86001,4 \text{ N}$  (**Tidak memenuhi**)

Kondisi 3

$\phi V_C \leq V_U \leq \phi (V_C + V_{S \min})$ , tulangan geser

$$\phi V_C = (0,75) \cdot (114668,5)$$

$$= 86001,4 \text{ N}$$

$$\phi (V_C + V_{S \min}) = 0,75 \cdot (114668,5 + 40639,5)$$

$$= 116481 \text{ N}$$

$$V_U = 191649,587 \text{ N}$$

$$86001,4 \text{ N} \leq 191649,587 \text{ N} > 116481 \text{ N} \text{ (**Tidak memenuhi**)}$$

#### Kondisi 4

$\phi \cdot (V_C + V_{S \min}) \leq V_U \leq \phi (V_C + V_{S \max})$ , tulangan geser

$$\begin{aligned} \phi \cdot (V_C + V_{S \min}) &= 0,75 \cdot (114668,5 + 40639,5) \\ &= 116481 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi \cdot (V_C + V_{S \max}) &= 0,75 \cdot (114668,5 + 105014,846) \\ &= 164762,6 \text{ N} \end{aligned}$$

$$V_U = 191649,587 \text{ N}$$

$$92338,242 \text{ N} \leq 191649,587 \text{ N} > 164762,6 \text{ N} \text{ (**Tidak memenuhi**)}$$

#### Kondisi 5

$\phi (V_C + V_{S \max}) \leq V_U \leq \phi (V_C + 2 \cdot V_{S \max})$ , tulangan geser

$$\begin{aligned} \phi \cdot (V_C + V_{S \max}) &= 0,75 \cdot (114668,5 + 105014,846) \\ &= 164762,6 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi \cdot (V_C + 2V_{S \max}) &= 0,75 \cdot (114668,5 + 445183,418) \\ &= 419888,94 \text{ N} \end{aligned}$$

$$V_U = 191649,587 \text{ N}$$

$$164762,6 \text{ N} \leq 191649,587 \text{ N} \leq 419888,94 \text{ N} \text{ (**Memenuhi**)}$$

Maka direncanakan penulangan geser balok diambil berdasarkan **kondisi 5**.

$$\begin{aligned} V_{S \text{ perlu}} &= \frac{V_U - \phi \cdot V_C}{\phi} \\ &= \frac{191649,587 - (0,75) \cdot (114668,5)}{0,75} \\ &= 140864,28 \text{ N} \end{aligned}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser Ø10 mm dengan 2 kaki, maka luasan tulangan geser :

$$\begin{aligned} A_v &= (0,25 \times \pi \times \emptyset^2) \times n_{\text{kaki}} \\ &= 0,25 \times \pi \times 10^2 \times 2 \\ &= 157,88 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jarak tulangan geser perlu ( $S_{\text{perlu}}$ )

$$\begin{aligned}
 S_{\text{perlu}} &= \frac{A_v \times f_{yv} \times d}{V_{s \text{ perlu}}} \\
 &= \frac{(157,88) \times (320) \times (410,5)}{140864,28} \\
 &= 147,227 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka dipasang jarak 150 mm antar tulangan geser.

Kontrol jarak spasi tulangan geser berdasarkan kondisi 5

$S_{\text{max}} < (d/2)$  atau  $S_{\text{max}} < 600 \text{ mm}$

- $150 \text{ mm} < (410,5/2)$   
 $150 \text{ mm} < 205,25 \text{ mm}$  (**memenuhi**)
- $150 \text{ mm} < 600$  (**memenuhi**)

**Cek persyaratan SRPMM untuk kekuatan geser balok**

Pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus dipasang sengkang sepanjang jarak dua kali komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama dipasang pada jarak tidak lebih dari 50 mm dari muka perletakan.

Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi :

- a.  $d/4$
- b. delapan kali diameter tulangan longitudinal
- c. 24 kali diameter sengkang
- d. 300 mm

**(SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.(2))**

$S_{\text{pakai}} < (d/4)$

$150 \text{ mm} < (410,5/4) \text{ mm}$

$150 \text{ mm} > 102,625 \text{ mm}$  (**Tidak memenuhi**)

$S_{\text{pakai}} < 8.D_{\text{lentur}}$

$150 \text{ mm} < 8.(19) \text{ mm}$

$150 \text{ mm} < 152 \text{ mm}$  (**memenuhi**)

$S_{\text{pakai}} < 24.\phi_{\text{sengkang}}$

$150 \text{ mm} < 24.(10) \text{ mm}$

$150 \text{ mm} < 240 \text{ mm}$  (**memenuhi**)



$$S_{\text{pakai}} < 300 \text{ mm}$$

$$150 \text{ mm} < 300 \text{ mm} \text{ (memenuhi)}$$

**Jadi, penulangan geser balok untuk balok B1 (30/50) pada wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan) dipasang Ø10-150 dengan sengkang 2 kaki.**

2. Pada wilayah 2 (daerah lapangan)

Gaya geser pada wilayah 2 diperoleh dengan menggunakan metode perbandingan segitiga, dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \frac{V_{u2}}{\frac{1}{2} \cdot L_n - 2 \cdot h} &= \frac{V_{u1}}{\frac{1}{2} \cdot L_n} \\ V_{u2} &= \frac{V_{u1} \times (\frac{1}{2} \cdot L_n - 2 \cdot h)}{\frac{1}{2} \cdot L_n} \\ &= \frac{(191649,587) \times (\frac{1}{2} \cdot (5000) - 2 \cdot (500))}{\frac{1}{2} \cdot (5000)} \\ &= 172484,63 \text{ N} \end{aligned}$$

Kondisi 1

$V_U \leq 0,5 \phi V_C$ , tidak perlu tulangan geser

$$V_U = 172484,63 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} 0,5 \cdot \phi \cdot V_C &= 0,5 \cdot (0,75) \cdot (114668,5) \\ &= 43000,69 \text{ N} \end{aligned}$$

$$172484,63 \text{ N} > 43000,69 \text{ N} \text{ (Tidak memenuhi)}$$

Kondisi 2

$0,5 \phi V_C \leq V_U \leq \phi \cdot V_C$ , tulangan geser

$$\begin{aligned} 0,5 \cdot \phi \cdot V_C &= 0,5 \cdot (0,75) \cdot (114668,5) \\ &= 43000,69 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi \cdot V_C &= (0,75) \cdot (114668,5) \\ &= 86001,4 \text{ N} \end{aligned}$$

$$V_U = 172484,63 \text{ N}$$

$$43000,69 \text{ N} \leq 172484,63 \text{ N} > 86001,4 \text{ N} \text{ (Tidak memenuhi)}$$

Kondisi 3

$\phi \cdot V_C \leq V_U \leq \phi \cdot (V_C + V_{S \text{ min}})$ , tulangan geser

$$\begin{aligned}\phi \cdot V_C &= (0,75) \cdot (114668,5) \\ &= 86001,4 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi \cdot (V_C + V_{S \min}) &= 0,75 \cdot (114668,5 + 40639,5) \\ &= 116481 \text{ N}\end{aligned}$$

$$V_U = 172484,63 \text{ N}$$

$$86001,4 \text{ N} \leq 172484,63 \text{ N} > 116481 \text{ N} \text{ (**Tidak memenuhi**)}$$

#### Kondisi 4

$$\phi \cdot (V_C + V_{S \min}) \leq V_U \leq \phi \cdot (V_C + V_{S \max}), \text{ tulangan geser}$$

$$\begin{aligned}\phi \cdot (V_C + V_{S \min}) &= 0,75 \cdot (114668,5 + 40639,5) \\ &= 116481 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi \cdot (V_C + V_{S \max}) &= 0,75 \cdot (114668,5 + 105014,846) \\ &= 164762,6 \text{ N}\end{aligned}$$

$$V_U = 172484,63 \text{ N}$$

$$116481 \text{ N} \leq 172484,63 \text{ N} > 164762,6 \text{ N} \text{ (**Tidak memenuhi**)}$$

#### Kondisi 5

$$\phi \cdot (V_C + V_{S \max}) \leq V_U \leq \phi \cdot (V_C + 2 \cdot V_{S \max}), \text{ tulangan geser}$$

$$\begin{aligned}\phi \cdot (V_C + V_{S \max}) &= 0,75 \cdot (114668,5 + 105014,846) \\ &= 164762,6 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi \cdot (V_C + 2V_{S \max}) &= 0,75 \cdot (114668,5 + 445183,418) \\ &= 419888,94 \text{ N}\end{aligned}$$

$$V_U = 172484,63 \text{ N}$$

$$164762,6 \text{ N} \leq 172484,63 \text{ N} \leq 419888,94 \text{ N} \text{ (**memenuhi**)}$$

Maka direncanakan penulangan geser balok diambil berdasarkan **kondisi 5**.

$$\begin{aligned}V_{S \text{ perlu}} &= \frac{V_U - \phi \cdot V_C}{\phi} \\ &= \frac{172484,63 - (0,75) \cdot (114668,5)}{0,75} \\ &= 115311,01 \text{ N}\end{aligned}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser Ø10 mm dengan 2 kaki, maka luasan tulangan geser :

$$\begin{aligned} A_v &= (0,25 \times \pi \times \emptyset^2) \times n_{\text{kaki}} \\ &= 0,25 \times \pi \times 10^2 \times 2 \\ &= 157,88 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jarak tulangan geser perlu ( $S_{\text{perlu}}$ )

$$\begin{aligned} S_{\text{perlu}} &= \frac{A_v \times f_{yv} \times d}{V_{s \text{ perlu}}} \\ &= \frac{(157,88) \times (320) \times (410,5)}{115311,01} \\ &= 179,85 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka dipasang jarak 200 mm antar tulangan geser.

Kontrol jarak spasi tulangan geser berdasarkan kondisi 5.

$$S_{\text{max}} < (d/2) \text{ atau } S_{\text{max}} < 600 \text{ mm}$$

- $200 \text{ mm} < (410,5/2)$
- $200 \text{ mm} < 205,25 \text{ mm}$  (**memenuhi**)
- $200 \text{ mm} < 600$  (**memenuhi**)

### **Cek persyaratan SRPMM untuk kekuatan geser balok**

Pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus dipasang sengkang sepanjang jarak dua kali komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama dipasang pada jarak tidak lebih dari 50 mm dari muka perletakan.

Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi :

- a.  $d/4$
- b. delapan kali diameter tulangan longitudinal
- c. 24 kali diameter sengkang
- d. 300 mm

(SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.(2))

$$S_{\text{pakai}} < (d/4)$$

$200 \text{ mm} < (410,5/4) \text{ mm}$   
 $200 \text{ mm} > 102,625 \text{ mm}$  (**Tidak memenuhi**)

$S_{\text{pakai}} < 8.D_{\text{lentur}}$

$200 \text{ mm} < 8.(19) \text{ mm}$

$200 \text{ mm} > 152 \text{ mm}$  (**Tidak memenuhi**)

$S_{\text{pakai}} < 24.\phi_{\text{sengkang}}$

$200 \text{ mm} < 24.(10) \text{ mm}$

$200 \text{ mm} < 240 \text{ mm}$  (**memenuhi**)

$S_{\text{pakai}} < 300 \text{ mm}$

$200 \text{ mm} < 300 \text{ mm}$  (**memenuhi**)

**Jadi, penulangan geser balok untuk balok B1 (25/45) pada wilayah 2 (daerah lapangan) dipasang Ø10-200 dengan sengkang 2 kaki.**

#### 4.4.1.4. Perhitungan Panjang Penyaluran

Gaya tarik dan tekan pada tulangan di setiap penampang komponen struktur beton bertulangan harus disalurkan pada masing-masing penampang melalui penyaluran tulangan. Adapun perhitungan penyaluran tulangan berdasarkan **SNI 03-2847-2013 pasal 12.**

- Penyaluran tulangan dalam kondisi tarik  
 Penyaluran tulangan dalam kondisi tarik dihitung berdasarkan **SNI 03-2847-2013 pasal 12.2**  
 Panjang penyaluran untuk batang ulir dan kawat dalam kondisi tarik tidak boleh kurang dari 300 mm.

**(SNI 03-2847-2013 pasal 12.2.1)**

Untuk panjang penyaluran batang ulir dan kawat ulir dapat dihitung berdasarkan **SNI 03-2847-2013 tabel pada pasal 12.2** sebagai berikut.

	Batang tulangan atau kawat ulir D-19 dan yang lebih kecil	Batang tulangan D-22 dan yang lebih besar
Spasi bersih batang tulangan atau kawat yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari $d_b$ , selimut bersih tidak kurang dari $d_b$ , dan sengkang atau pengikat sepanjang $\ell_d$ tidak kurang dari minimum Tata Cara atau Spasi bersih batang tulangan atau kawat yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari $2d_b$ dan selimut bersih tidak kurang dari $d_b$	$\left( \frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{2,1\lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b$	$\left( \frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{1,7\lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b$
Kasus-kasus lain	$\left( \frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{1,4\lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b$	$\left( \frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{1,1\lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b$

**Gambar 4.53.** Panjang Penyaluran Batang Ulir dan Kawat Ulir

Dimana,

$\lambda_d$  = panjang penyaluran tulangan kondisi Tarik

$d_b$  = diameter tulangan lentur yang dipakai

$\Psi_t$  = faktor lokasi penulangan

$\Psi_e$  = faktor pelapis

dimana nilai dari masing-masing faktor :

$\lambda$  = 1,0 (untuk beton berat normal)

$\Psi_t$  = 1,3 (beton segar dicor di bawah panjang penyaluran atau sambungan)

$\Psi_e$  = 1,0 (untuk tulangan tidak dilapisi dan dilapisi bahan seng/ digalvanis)

$d_b$  = 19 mm

### Perhitungan

$$\begin{aligned}
 \lambda_d &= \frac{f_y \cdot \Psi_t \cdot \Psi_e}{2,1 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c}} \cdot d_b \\
 &= \frac{(400) \cdot (1,3) \cdot (1,0)}{2,1 \cdot (1,0) \cdot \sqrt{30}} \cdot (19) \\
 &= 858,968 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Syarat :

$\lambda_d > 300 \text{ mm}$

$858,968 \text{ mm} > 300 \text{ mm}$  (**memenuhi**)

1. Reduksi panjang penyaluran tulangan balok tumpuan kiri (tulangan lebih) :

$$\begin{aligned}
 \lambda_{\text{reduksi}} &= \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ pasang}} \cdot \lambda_d \\
 &= \frac{933,84}{1134,11} \cdot (858,968) \\
 &= 707,284 \text{ mm} \\
 &\approx 750 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tarik di daerah tumpuan kiri 750 mm.

2. Reduksi panjang penyaluran tulangan balok tumpuan kanan (tulangan lebih) :

$$\begin{aligned}
 \lambda_{\text{reduksi}} &= \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ pasang}} \cdot \lambda_d \\
 &= \frac{933,84}{1134,11} \cdot (858,968) \\
 &= 707,284 \text{ mm} \\
 &\approx 750 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tarik 750 mm.

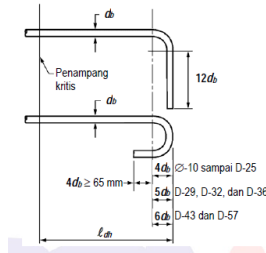
3. Reduksi panjang penyaluran tulangan balok lapangan (tulangan lebih) :

$$\begin{aligned}
 \lambda_{\text{reduksi}} &= \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ pasang}} \cdot \lambda_d \\
 &= \frac{1254,3}{1417,64} \cdot (858,968) \\
 &= 759,99 \text{ mm} \\
 &\approx 760 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tarik di daerah lapangan 760 mm.

- Penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik  
 Penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik dihitung berdasarkan **SNI 03-2847-2013 pasal 12.5**.  
 Panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi Tarik tidak boleh kurang dari 150 mm.  
**(SNI 03-2847-2013 pasal 12.5.1)**  
 Berdasarkan SNI 03-1847-2013 pasal 12.5.2. Untuk batang tulangan ulir  $\lambda_d$  harus sebesar

$(0,24 \cdot \psi_e \cdot f_y / \lambda \cdot \sqrt{f'_c}) / d_b$  dengan  $\psi_e$  diambil sebesar 1,2 untuk tulangan dilapisi epoksi, dan  $\lambda$  diambil 0,75 untuk beton ringan. Untuk kasus lainnya,  $\psi_e$  dan  $\lambda$  harus diambil sebesar 1,0.



**Gambar 4.54.** Detail Batang Tulangan Berkait untuk Penyaluran Kait Standart

$$\lambda_{dh} = \frac{0,24 \cdot \psi_e \cdot f_y}{\lambda \cdot \sqrt{f'_c}} \times d_b$$

$$\lambda_{dh} = \frac{0,24 \times 1,0 \times 400}{1,0 \sqrt{30}} \times 19$$

$$= 333,01 \text{ mm}$$

Syarat :  $\lambda_{dh} > 150 \text{ mm}$

333,01 mm > 150 mm (**memenuhi**)

1. Reduksi panjang penyaluran tulangan balok tumpuan kiri (tulangan lebih) :

$$\lambda_{reduksi} = \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ pasang}} \cdot \lambda_d$$

$$= \frac{933,84}{1134,11} \cdot (333,01)$$

$$= 274,204 \text{ mm}$$

$$\approx 280 \text{ mm}$$

Maka panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tarik di tumpuan kiri 280 mm.

2. Reduksi panjang penyaluran tulangan balok tumpuan kanan (tulangan lebih) :

$$\lambda_{reduksi} = \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ pasang}} \cdot \lambda_d$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{933,84}{1134,11} \cdot (333,01) \\
 &= 274,204 \text{ mm} \\
 &\approx 280 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tarik di tumpuan kanan 280 mm.

3. Reduksi panjang penyaluran tulangan balok lapangan (tulangan lebih) :

$$\begin{aligned}
 \lambda_{\text{reduksi}} &= \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ pasang}} \cdot \lambda_d \\
 &= \frac{1254,3}{1417,64} \cdot (333,01) \\
 &= 294,64 \text{ mm} \\
 &\approx 300 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tarik di lapangan 300 mm.

Panjang kait

$$\begin{aligned}
 12.d_b &= 12 \cdot (19) \\
 &= 228 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

- Penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tekan  
 Penyaluran tulangan dalam kondisi tekan dihitung berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 12.3.  
 Panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tekan tidak boleh kurang dari 200 mm.

**(SNI 03-2847-2013 pasal 12.3.1)**

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 12.3.2 panjang penyaluran diambil terbesar dari :

$$\begin{aligned}
 \lambda_{dc} &= \frac{0,24 \cdot f_y}{\lambda \cdot \sqrt{f'_c}} \times d_b \\
 \lambda_{dc} &= \frac{0,24 \cdot (400)}{1,0 \sqrt{30}} \times 19 \\
 \lambda_{dc} &= 333,02 \text{ mm} \dots \dots \dots (1) \\
 \lambda_{dc} &= (0,043 \times f_y) \times d_b \\
 \lambda_{dc} &= (0,043 \times 400) \times 19 \\
 \lambda_{dc} &= 326,80 \text{ mm} \dots \dots \dots (2)
 \end{aligned}$$



Diambil 333,02 mm

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih) :

$$\begin{aligned}\lambda_{\text{reduksi}} &= \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ pasang}} \cdot \lambda_d \\ &= \frac{340,23}{567,057} \cdot (333,02) \\ &= 199,809 \text{ mm} \\ &\approx 200 \text{ mm}\end{aligned}$$

Maka panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tekan 200 mm.

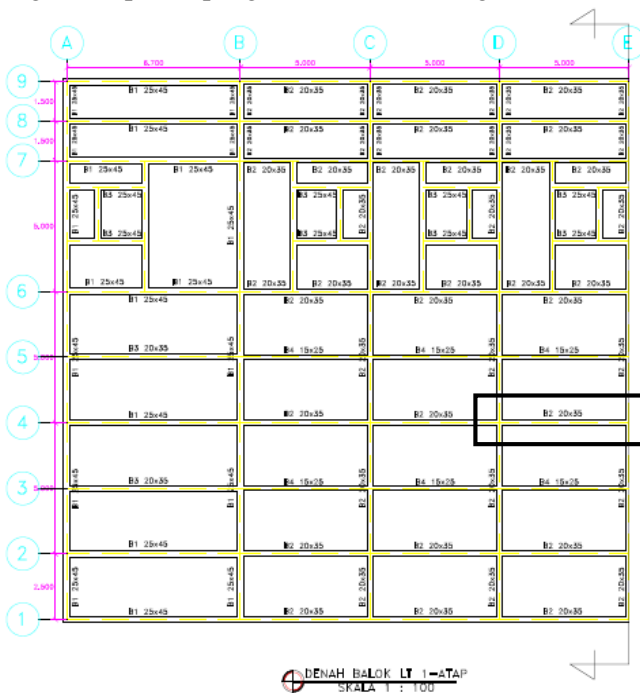
Panjang kait :

$$\begin{aligned}4d_b + 4d_b &= 4(19) + 4(19) \\ &= 152 \text{ mm}\end{aligned}$$

#### 4.4.2. Perhitungan Balok Induk B2 As 4 J-K

##### ❖ Data perencanaan

Perhitungan tulangan balok induk : B2 (20/35) As 4 J-K elevasi  $\pm 4,50$ . Berikut data-data perencanaan balok, gambar denah pembalokan, hasil *output* dan diagram gaya dalam dari analisa SAP 2000, ketentuan perhitungan penulangan balok dengan metode SRPMM, perhitungan serta hasil akhir gambar penampang balok adalah sebagai berikut:



**Gambar 4.55.** Denah Pembalokan Lantai

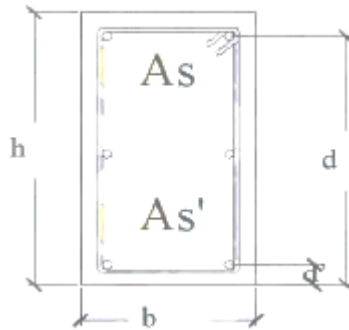
##### ❖ Data-data penulangan balok :

Tipe balok : B2 (20/35)  
Frame Balok : 702

Bentang balok	: 5000 mm
Dimensi balok (b)	: 250 mm
Dimensi balok (h)	: 450 mm
Kuat tekan beton ( $f_c'$ )	: 30 Mpa
Kuat leleh tulangan lentur ( $f_y$ )	: 400 Mpa
Kuat leleh tulangan geser ( $f_{yv}$ )	: 320 Mpa
Kuat leleh tulangan puntir ( $f_{yt}$ )	: 320 Mpa
Tebal selimut beton	: 40 mm
Diameter tulangan lentur (D)	: 19 mm
Diameter tulangan geser ( $\emptyset$ )	: 10 mm
Diameter tulangan puntir (D)	: 16 mm
Jarak spasi tulangan sejajar	: 25 mm
<b>(SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.1)</b>	
Jarak spasi tulangan antarlapis	: 25 mm
<b>(SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.2)</b>	
Tebal selimut beton ( $t_{decking}$ )	: 40 mm
<b>(SNI 03-2847-2013 pasal 7.7.1)</b>	
Faktor $\beta_1$	: 0,8375
<b>(SNI 03-2847-2013 pasal 10.2.7.(1))</b>	
Faktor reduksi kekuatan lentur	: 0,8
<b>(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(1))</b>	
Faktor reduksi kekuatan geser	: 0,75
<b>(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(3))</b>	
Faktor reduksi kekuatan puntir	: 0,75
<b>(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(3))</b>	

Maka tinggi efektif balok :

$$\begin{aligned}
 d &= h - decking - \emptyset_{sengkang} - \frac{1}{2} \emptyset_{lentur} \\
 &= (350 - 40 - 10 - (\frac{1}{2} 19)) \text{ mm} \\
 &= 290,5 \text{ mm} \\
 d' &= decking + \emptyset_{sengkang} + \frac{1}{2} \emptyset_{lentur} \\
 &= (40 + 10 + (\frac{1}{2} 19)) \text{ mm} \\
 &= 59,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$



**Gambar 4.56.** Tinggi Efektif Balok

- ❖ Hasil *Output* dan Diagram Gaya dalam dari analisa SAP 2000 :

Dari analisa SAP 2000, maka didapatkan hasil *output* dan diagram gaya dalam sehingga digunakan dalam proses perhitungan penulangan balok induk.

Adapun dalam pengambilan hasil *output* dan diagram gaya dalam dari analisa SAP 2000 yaitu gaya yang ditinjau harus ditentukan dan digunakan akibat dari beberapa macam kombinasi pembebanan. Kombinasi pembebanan yang digunakan terdiri dari kombinasi beban gravitasi dan kombinasi beban gempa.

Kombinasi beban gravitasi :

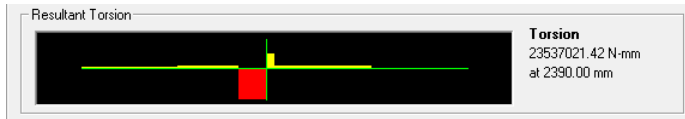
- 1,4D
- 1,2D+1,6L+1,0Lr
- 1,2D+1,6L+1,0W
- 0,9D+1,0W

Kombinasi beban gempa :

Pembebanan dari beban gravitasi dan beban gempa positif serah sumbu X.

- 1,2D+1,0L+1,0Ex+0,3Ey
- 1,2D+1,0L+0,3Ex+1,0Ey

### Hasil output diagram torsi

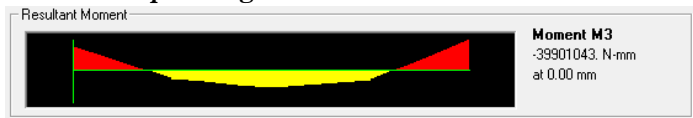


**Gambar 4.57.** Diagram Torsi Balok

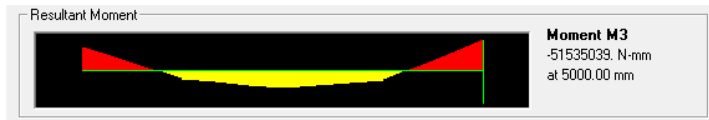
Kombinasi 1,2D+1,0L+0,3E<sub>x</sub>+1,0E<sub>y</sub>

Momen torsi = 23537021,42 N.mm

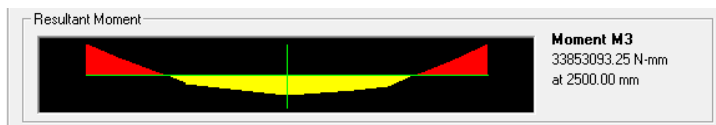
### Hasil output diagram momen lentur



**Gambar 4.58.** Diagram Momen Lentur Tumpuan Kiri Balok Induk B2 20/35



**Gambar 4.59.** Diagram Momen Lentur Tumpuan Kanan Balok Induk B2 20/35



**Gambar 4.60.** Diagram Momen Lentur Lapangan Balok Induk B2 20/35

Kombinasi 1,2D+1,0L+0,3E<sub>x</sub>+1,0E<sub>y</sub>

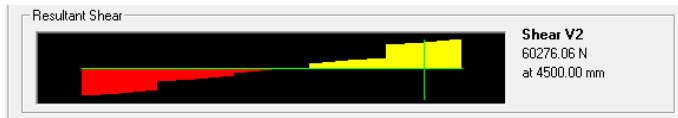
Momen tumpuan kiri = 39901043 N.mm

Momen tumpuan kanan = 51535039 N.mm

Kombinasi 1,2D+1,6L+0,5L<sub>r</sub>

Momen lapangan = 33853093,25 N.mm

### Hasil *output* diagram gaya geser



**Gambar 4.61.** Diagram Geser pada Tumpuan

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.2,  $V_u$  diambil tepat dari muka kolom sejarak 50 cm dari as kolom.

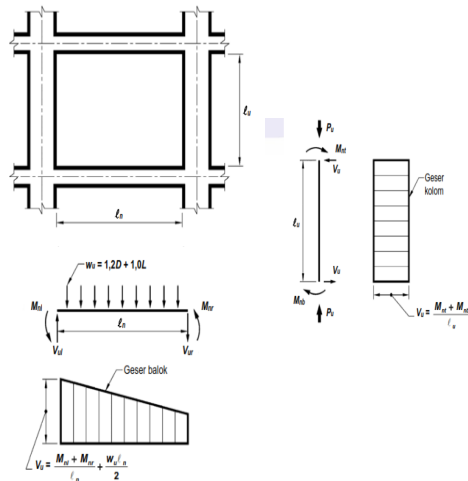
Gaya geser terfaktor  $V_u = 60276,06 \text{ N}$

- ❖ Syarat gaya aksial pada balok :  
Balok harus memenuhi definisi komponen struktur lentur. Detail penulangan SRPMM harus memenuhi ketentuan-ketentuan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.(2), bila beban aksial tekan terfaktor pada komponen struktur tidak melebihi  $(A_g \cdot f_c')/10$ .

$$\begin{aligned}
 A_g &= b \times h \\
 &= 200 \text{ mm} \times 350 \text{ mm} \\
 &= 70000 \text{ mm}^2 \\
 F_c' &= 30 \text{ Mpa} \\
 (A_g \cdot f_c')/10 &= ((70000) \cdot (30))/10 \\
 &= 210000 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan analisa struktur SAP 2000, gaya aksial tekan akibat kombinasi  $1,2D+1,0L+0,3E_x+1,0E_y$  pada komponen struktur sebesar  $60276,06 \text{ N} < 210000 \text{ N}$ .

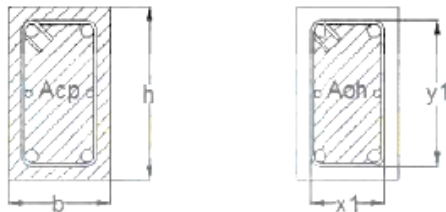
**Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3. mengenai ketentuan perhitungan penulangan balok dengan menggunakan metode sistem rangka pemikul momen menengah.**



**Gambar 4.62.** Gaya Lintang Rencana Komponen Balok pada SRPMM

**Periksa kecukupan dimensi penampang terhadap beban geser lentur dan puntir**

Ukuran penampang balok yang dipakai = 20/35



**Gambar 4.63.** Luasan \$A\_{cp}\$ dan \$P\_{cp}\$

**Luasan yang dibatasi oleh keliling luar irisan penampang beton**

$$\begin{aligned}
 A_{cp} &= b_{\text{balok}} \times h_{\text{balok}} \\
 &= 200 \text{ mm} \times 350 \text{ mm} \\
 &= 70000 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Perimeter luas irisan penampang beton  $A_{cp}$ 

$$\begin{aligned}
 P_{cp} &= 2 \times (b_{balok} + h_{balok}) \\
 &= 2 \times (200 \text{ mm} + 350 \text{ mm}) \\
 &= 1100 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Luas penampang dibatasi  $A_s$  tulangan sengkang

$$\begin{aligned}
 A_{oh} &= (b_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \emptyset_{geser}) \times (h_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \emptyset_{geser}) \\
 &= (200 \text{ mm} - 2 \times 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm}) \times (350 \text{ mm} - 2 \times 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm}) \\
 &= 28600 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Keliling penampang dibatasi  $A_s$  tulangan sengkang

$$\begin{aligned}
 P_h &= 2 \times [(b_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \emptyset_{geser}) + (h_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \emptyset_{geser})] \\
 &= 2 \times [(200 \text{ mm} - 2 \times 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm}) + (350 \text{ mm} - 2 \times 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm})] \\
 &= 740 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

**4.4.2.1. Perhitungan Penulangan Torsi**

Berdasarkan hasil *output* diagram torsi pada SAP diperoleh momen puntir terbesar :

Momen puntir ultimate

Akibat kombinasi 1,2D+1,0L+0,3E<sub>x</sub>+1,0E<sub>y</sub>

$$T_u = 23537021,42 \text{ N.mm}$$

$$V_u = 60276,06 \text{ N}$$

Momen puntir nominal

$$\begin{aligned}
 T_n &= T_u / \phi \\
 &= (23537021,42) / 0,75 \\
 &= 31382695,23 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

Pengaruh torsi dapat diabaikan bila momen puntir terfaktor  $T_u$  besarnya kurang dari pasa (SNI 03-2847:2013 pasal 11.5.1) :

$$\begin{aligned}
 T_{u \text{ min}} &= \phi \times 0,083 \times \lambda \times \sqrt{f'_c} \times (A_{cp}^2 / P_{cp}^2) \\
 &= 0,75 \times 0,083 \times 1 \times \sqrt{30} \times (70000^2 / 1100) \\
 &= 1518809,755 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$



Sedangkan untuk momen puntir terfaktor maksimum  $T_u$  dapat diambil sebesar (**SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.2.2**) :

$$\begin{aligned} T_u \max &= \phi \times 0,33 \times \lambda \times \sqrt{f'_c} \times (A_{cp}^2 / P_{cp}^2) \\ &= 0,75 \times 0,33 \times 1 \times \sqrt{30} \times (70000^2 / 1100) \\ &= 6038641,196 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Cek pengaruh momen puntir :

Syarat :

$T_{u_{\min}} > T_u$  , tidak memerlukan tulangan puntir

$T_{u_{\min}} < T_u$  , memerlukan tulangan puntir

$$T_u = 23537021,42 \text{ N.mm}$$

$$T_{u_{\min}} = 1518809,755 \text{ N.mm}$$

$T_{u_{\min}} < T_u$  , **memerlukan tulangan puntir**

Jadi penampang balok memerlukan penulangan punter yang serupa sengkang-sengkang tertutup dan tulangan memanjang.

Cek kecukupan penampang menahan momen puntir

Dimensi penampang melintang harus menuhi ketentuan berikut : (**SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.3.1**)

$$\begin{aligned} &\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w \cdot d}\right)^2 + \left(\frac{T_u \cdot P_h}{1,7 \cdot A_{oh}}\right)^2} \leq \sqrt{\phi \left(\frac{0,16 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d}{b_w \cdot d}\right) + 0,66 \sqrt{f'_c}} \\ &\sqrt{\left(\frac{60276,06}{200.290,5}\right)^2 + \left(\frac{123537021,42 \cdot 740}{1,7.28600}\right)^2} \leq \\ &\sqrt{0,75 \cdot \left(\frac{0,16 \cdot \sqrt{30} \cdot 200.290,5}{200.290,5}\right) + 0,66 \sqrt{30}} \end{aligned}$$

$0,8802 \leq 1,8353$  (**penampang balok mencukupi untuk menahan momen puntir**)

### **Tulangan puntir untuk lentur**

Tulangan longitudinal tambahan yang diperlukan untuk menahan puntir direncanakan berdasarkan persamaan berikut :

$$A_l = \frac{A_t}{s} \cdot P_h \cdot \frac{f_y}{f_{yt}} \cdot \cot^2 \phi$$

#### **(SNI 02-2847-2013 pasal 11.5.3.7)**

Dengan  $A_t/s$  dihitung daripersamaan di bawah ini :

$$T_n = \frac{2 \times A_o \times A_t \times f_{yt}}{s} \times \cot \phi$$

Untuk beton non-prategang  $\phi = 45^\circ$

#### **(SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.3.6)**

Dimana,

$$\begin{aligned} A_o &= 0,85 \times A_{oh} \\ &= 0,85 \times 28600 \text{ mm}^2 \\ &= 24310 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (A_t/s) &= (31382695,23)/(2 \times 24310 \times 320 \times \cot 45) \\ &= 2,017 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka tulangan puntir untuk lentur :

$$\begin{aligned} A_l &= 2,017 \times 740 \times (400/320) \cdot (\cot^2 45) \\ &= 1865,725 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Tetapi tidak boleh kurang dari **(SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.5.3)**

$$\begin{aligned} A_{lmin} &= \frac{0,42 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot A_{cp}}{f_y} - \left( \frac{A_t}{s} \cdot P_h \cdot \frac{f_{yt}}{f_y} \right) \\ A_{lmin} &= \frac{0,42 \cdot \sqrt{30} \cdot 70000}{400} - \left( 0,61 \cdot 740 \cdot \frac{320}{400} \right) \\ &= 227,344 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dengan  $(A_t/s)$  tidak boleh kurang dari  $(0,175 \cdot (b_w/f_{yt}))$   
 $0,175 \cdot (200/320) = 0,1094$

Maka nilai  $(A_t/s) = 2,017 > 0,1094$  **(memenuhi)**

Kontrol :

$A_{l\text{perlu}} \leq A_{l\text{min}}$ , maka gunakan  $A_{l\text{min}}$

$A_{l\text{perlu}} \geq A_{l\text{min}}$ , maka gunakan  $A_{l\text{perlu}}$

$$1865,725 \text{ mm}^2 \geq 227,344 \text{ mm}^2 \text{ (gunakan } A_{1\text{ perlu}})$$

Maka digunakan tulangan puntir perlu sebesar 1865,725 mm<sup>2</sup>.

**Luasan tulangan puntir untuk arah memanjang dibagi merata keempat sisi pada penampang balok**

$$(A_1/4) = (1865,725 \text{ mm}^2)/4 = 466,431 \text{ mm}^2$$

Penulangan torsi pada tulangan memanjang :

Pada sisi atas = disalurkan pada tulangan tarik balok

Pada sisi bawah = disalurkan pada tulangan tekan balok

**Maka masing-masing sisi atas dan bawah balokmendapat tambahan luasan puntir sebesar 466,431 mm<sup>2</sup>**

Pada sisi kanan dan kiri = dipasang tulangan puntir sebesar :

$$\begin{aligned} 2.(A_1/4) &= 2.(1865,725 \text{ mm}^2)/4 \\ &= 932,863 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

**Jumlah tulangan pasang puntir longitudinal (sisi tengah)**

$$\begin{aligned} n &= (A_s/\text{Luasan D puntir}) \\ &= (932,863)/(0,25 \times \pi \times 16^2) \\ &= 4,63 \approx 5 \text{ buah} \end{aligned}$$

Dipasang tulangan puntir 5D16

**Luasan tulangan pasang puntir longitudinal (sisi tengah)**

$$\begin{aligned} A_s &= n \times \text{Luasan D tulangan puntir} \\ &= 5 \times 0,25 \times \pi \times 16^2 \\ &= 1005,309 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$A_s \text{ pasang} \geq A_s \text{ perlu}$

$$1005,309 \text{ mm}^2 \geq 932,863 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Sehingga dipasang tulangan puntir di tumpuan kiri, lapangan, dan tumpuan kanan sebesar 5D16.

#### 4.4.2.2. Perhitungan Penulangan Lentur

##### Daerah Tumpuan Kiri

Diambil momen yang terbesar, akibat kombinasi :

$$1,2D+1,0L+1,0E_x+0,3E_y$$

##### Garis netral dalam kondisi *balance*

$$\begin{aligned} X_b &= (600/(600+f_y)) \times d \\ &= (600/(600+400)) \times 290,5 \\ &= 174,3 \text{ mm} \end{aligned}$$

##### Garis netral maksimum

$$\begin{aligned} X_{\max} &= 0,75 \times X_b \\ &= 0,75 \times 174,3 \text{ mm} \\ &= 130,725 \text{ mm} \end{aligned}$$

##### Garis netral minimum

$$\begin{aligned} X_{\min} &= d' \\ &= 59,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

##### Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{\text{rencana}} = 150 \text{ mm}$$

##### Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned} C_c' &= 0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_{\text{rencana}} \\ &= 0,85 \times 30 \times 200 \times 0,8375 \times 150 \\ &= 640687,5 \text{ N} \end{aligned}$$

##### Luasan tulangan tarik

$$\begin{aligned} A_{sc} &= C_c' / f_y \\ &= 640687,5 / 400 \\ &= 1601,72 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

##### Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned} M_{nc} &= A_{sc} \times f_y \times (d - (\beta_1 \times X_{\text{rencana}}/2)) \\ &= 1601,72 \times 400 \times (290,5 - ((0,8375 \times 150)/2)) \end{aligned}$$

$$= 145876649 \text{ N.mm}$$

Momen lentur nominal ( $M_n$ )

$$M_{u_{\text{tump}}} = 39901043 \text{ N.mm}$$

$$\begin{aligned} M_n &= 39901043 \text{ N.mm} / 0,8 \\ &= 49876303,75 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0$ , maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0$ , maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned} M_{ns} &= M_n - M_{nc} \\ &= 49876303,75 - 145876649 \\ &= -96000345,25 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Maka,  $M_{ns} \leq 0$  (**tidak perlu tulangan lentur tekan**)

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal.

➤ **Perencanaan tulangan lentur tunggal**

Diketahui :

$$f_y = 400 \text{ Mpa}$$

$$f_c' = 30 \text{ Mpa}$$

$$\beta = 0,8375$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_{\text{balance}} = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta}{f_y} + \frac{600}{600 + f_y}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{balance}} &= \frac{(0,85) \cdot (30) \cdot (0,8375)}{400} + \frac{600}{600 + 400} \\ &= 0,653 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= 0,75 \times \rho_{\text{balance}} \\ &= 0,75 \times 0,653 \\ &= 0,0244 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} \\ &= \frac{400}{0,85 \cdot (30)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 15,69 \\
M_u &= 39901043 \text{ N.mm} \\
\phi &= 0,8 \\
d &= 290,5 \text{ mm} \\
b &= 200 \text{ mm} \\
M_n &= (M_u)/\phi \\
&= (39901043 \text{ N.mm})/(0,8) \\
&= 49876303,75 \text{ N.mm} \\
R_n &= (M_n)/(b.d^2) \\
&= (49876303,75 \text{ N.mm})/((200)(290,5^2)) \\
&= 2,955 \\
\rho &= \frac{1}{m} \cdot \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2.m.R_n}{f_y}} \right] \\
&= \frac{1}{15,69} \cdot \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2.(15,69).(2,955)}{400}} \right] \\
&= 0,00787 \\
\text{Syarat, } \rho_{\min} < \rho < \rho_{\max} \\
0,0035 < 0,00787 < 0,0244 \text{ (OK)} \\
\text{Maka } \rho &= 0,00787
\end{aligned}$$

#### Luasan perlu tulangan lentur tarik

$$\begin{aligned}
A_s &= \rho \times b \times d \\
&= (0,00787).(200 \text{ mm}).(290,5 \text{ mm}) \\
&= 457,247 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

Luasan tulangan perlu lentur ditambah luasan tambahan torsi longitudinal untuk lentur :

$$\begin{aligned}
A_{s \text{ perlu}} &= A_s + (A_t/4) \\
&= 457,247 + 466,431 \\
&= 923,678 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

#### Jumlah tulangan lentur tarik pakai (sisi atas)

$$\begin{aligned}
n &= A_{s \text{ perlu}} / \text{Luasan D lentur} \\
&= 923,678 / (0,25 \times \pi \times 19^2) \\
&= 3,35 \approx 4 \text{ buah}
\end{aligned}$$

Dipasang tulangan lentur 4D19

Luasan tulangan lentur Tarik pasang (sisi atas)

$$\begin{aligned} A_{s \text{ pasang}} &= n_{\text{pasang}} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 4 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\ &= 1134,114 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &\geq A_s \text{ perlu} \\ 1134,114 \text{ mm}^2 &\geq 923,678 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

Luasan pasang ( $A_s'$ ) tulangan lentur tekan

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.1 luasan tulangan tidak boleh kurang dari 0,3 tulangan Tarik

$$\begin{aligned} A_s' &= 0,3 \times A_s \\ &= 0,3 \times 1134,114 \text{ mm}^2 \\ &= 340,234 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan lentur tekan pakai (sisi bawah)

$$\begin{aligned} n &= A_{s \text{ perlu}} / \text{Luasan D lentur} \\ &= 340,234 / (0,25 \times \pi \times 19^2) \\ &= 1,19 \approx 2 \text{ buah} \end{aligned}$$

Luasan tulangan lentur tekan pasang (sisi bawah)

$$\begin{aligned} A_{s \text{ pasang}} &= n_{\text{pasang}} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\ &= 567,057 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol jarak spasi tulangan pakai

Syarat :

$$S_{\text{max}} \geq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm, susun 1 lapis}$$

$$S_{\text{max}} \leq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm, susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan dipakai tulangan tarik satu lapis 4D19 dan tulangan tekan 2D13.

Kontrol tulangan tarik

$$S_{\text{max}} = \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times \phi_{\text{geser}}) - (n \times D)}{n - 1}$$

$$S_{\max} = \frac{200 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (4 \times 19)}{4 - 1}$$

$$= 8 \text{ mm}$$

$$S_{\max} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

$$8 \text{ mm} < 25 \text{ mm} \text{ (**Tidak memenuhi**)}$$

Kontrol tulangan tekan

$$S_{\text{tekan}} = \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times \phi_{\text{geser}}) - (n \times D)}{n - 1}$$

$$S_{\text{tekan}} = \frac{200 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 19)}{2 - 1}$$

$$= 62 \text{ mm}$$

$$S_{\max} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

$$62 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \text{ (**memenuhi**)}$$

Karena syarat jarak sejajar antar tulangan pada tulangan lentur tarik belum terpenuhi ( $S_{\max} \leq 25 \text{ mm}$ ), maka dipasang tulangan lentur tarik 2 lapis.

- Kontrol tulangan tarik lapis 1

$$S_{\max} = \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times \phi_{\text{geser}}) - (n \times D)}{n - 1}$$

$$S_{\max} = \frac{200 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 19)}{2 - 1}$$

$$= 62 \text{ mm}$$

$$S_{\max} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

$$62 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \text{ (**memenuhi**)}$$

- Kontrol tulangan tarik lapis 2

$$S_{\max} = \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times \phi_{\text{geser}}) - (n \times D)}{n - 1}$$

$$S_{\max} = \frac{200 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 19)}{2 - 1}$$

$$= 62 \text{ mm}$$

$$S_{\max} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$



62 mm > 25 mm (**memenuhi**)

Maka dipakai tulangan lentur balok induk B2 (20/35) untuk daerah tumpuan kiri :

- Tulangan lentur tarik susun 1 lapis  
     Lapis 1           = 2D19  
     Lapis 2           = 2D19
- Tulangan lentur tekan susun 1 lapis  
     Lapis 1           = 2D19

### **Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok**

Kuat momen lentur positif balok pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari sperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka-muka kolom di kedua ujung komponen tersebut.  $M_{\text{lentur tumpuan (+)}} \geq 1/3 \times M_{\text{lentur tumpuan (-)}}$ .

**[SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.(1)]**

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} A_{S \text{ pasang}} &= n_{\text{pasang}} \times \text{luasan } D \text{ lentur} \\ &= 4 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\ &= 1134,114 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{S' \text{ pasang}} &= n_{\text{pasang}} \times \text{luasan } D \text{ lentur} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\ &= 567,057 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$M_{\text{lentur tumpuan (+)}} \geq (1/3) M_{\text{lentur tumpuan (-)}}$

$$567,057 \geq (1/3) 1134,114$$

$$567,057 \geq 340,234 \text{ (**memenuhi**)}$$

Jadi pada daerah tumpuan kiri, dipasang tulangan :

Tulangan tarik = 4D19

Tulangan tekan = 2D19

### Kontrol kemampuan penampang

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \\
 &= \frac{(1134,114) \cdot (400)}{0,85 \times (30) \times (200)} \\
 &= 88,95 \text{ mm} \\
 M_n \text{ pasang} &= A_s \cdot f_y \cdot (d - (a/2)) \\
 &= (1134,114) \cdot (400) \cdot (290,5 - (88,95/2)) \\
 &= 111608158,7 \text{ N.mm} \\
 \phi \cdot M_n \text{ pasang} &= 0,8 \times 111608158,7 \\
 &= 89286526,99 \text{ N.mm} \\
 M_u \text{ perlu} &= 39901043 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

$$\phi \cdot M_n \text{ pasang} \geq M_u \text{ perlu}$$

$$89286526,99 \text{ N.mm} \geq 39901043 \text{ N.mm} \text{ (memenuhi)}$$

Jadi penulangan lentur untuk balok induk B2 (20/35) pada daerah tumpuan kiri dipakai tulangan tarik 4D19 dan tulangan tekan 2D19 dengan susunan sebagai berikut :

- **Tulangan lentur tarik susun 1 lapis**  
 Lapis 1 = 2D19  
 Lapis 2 = 2D19
- **Tulangan lentur tekan susun 1 lapis**  
 Lapis 1 = 2D19

### **Daerah Tumpuan Kanan**

Diambil momen yang terbesar, akibat kombinasi :

$$1,2D+1,0L+1,0E_x+0,3E_y$$

Garis netral dalam kondisi *balance*

$$\begin{aligned}
 X_b &= (600 / (600 + f_y)) \times d \\
 &= (600 / (600 + 400)) \times 290,5 \\
 &= 174,3 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Garis netral maksimum

$$\begin{aligned}
 X_{\max} &= 0,75 \times X_b \\
 &= 0,75 \times 174,3 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$= 130,725 \text{ mm}$$

Garis netral minimum

$$\begin{aligned} X_{\min} &= d' \\ &= 59,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{\text{rencana}} = 150 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned} C_c' &= 0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_{\text{rencana}} \\ &= 0,85 \times 30 \times 200 \times 0,8375 \times 150 \\ &= 640687,5 \text{ N} \end{aligned}$$

Luasan tulangan tarik

$$\begin{aligned} A_{sc} &= C_c' / f_y \\ &= 640687,5 / 400 \\ &= 1601,72 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned} M_{nc} &= A_{sc} \times f_y \times (d - (\beta_1 \times X_{\text{rencana}}/2)) \\ &= 1601,72 \times 400 \times (290,5 - ((0,8375 \times 150)/2)) \\ &= 145876649 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Momen lentur nominal (Mn)

$$\begin{aligned} M_{u_{\text{tump}}} &= 51535039 \text{ N.mm} \\ M_n &= 51535039 \text{ N.mm} / 0,8 \\ &= 64418798,75 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0$ , maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0$ , maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned} M_{ns} &= M_n - M_{nc} \\ &= 64418798,75 - 145876649 \\ &= -81457850,25 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Maka,  $M_{ns} \leq 0$  (**tidak perlu tulangan lentur tekan**)

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal.

➤ **Perencanaan tulangan lentur tunggal**

Diketahui :

$$f_y = 400 \text{ Mpa}$$

$$f_c' = 30 \text{ Mpa}$$

$$\beta = 0,8375$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_{\text{balance}} = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta}{f_y} + \frac{600}{600 + f_y}$$

$$\rho_{\text{balance}} = \frac{(0,85) \cdot (30) \cdot (0,8375)}{400} + \frac{600}{600 + 400}$$

$$= 0,653$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_{\text{balance}}$$

$$= 0,75 \times 0,653$$

$$= 0,0244$$

$$m = \frac{f_y}{\frac{0,85 \cdot f_c'}{400}}$$

$$= \frac{400}{0,85 \cdot (30)}$$

$$= 15,69$$

$$M_u = 51535039 \text{ N.mm}$$

$$\phi = 0,8$$

$$d = 290,5 \text{ mm}$$

$$b = 200 \text{ mm}$$

$$M_n = (M_u)/\phi$$

$$= (51535039 \text{ N.mm})/(0,8)$$

$$= 64418798,75 \text{ N.mm}$$

$$R_n = (M_n)/(b \cdot d^2)$$

$$= (64418798,75 \text{ N.mm})/((200)(290,5^2))$$

$$= 3,816$$

$$\rho = \frac{1}{m} \cdot \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right]$$

$$= \frac{1}{15,69} \cdot \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot (15,69) \cdot (3,816)}{400}} \right]$$

$$= 0,01038$$

Syarat,  $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$   
 $0,0035 < 0,01038 < 0,0244$  (**OK**)

Maka  $\rho = 0,01038$

Luasan perlu tulangan lentur tarik

$$A_s = \rho \times b \times d$$

$$= (0,01038) \cdot (200 \text{ mm}) \cdot (290,5 \text{ mm})$$

$$= 603,078 \text{ mm}^2$$

Luasan tulangan perlu lentur ditambah luasan tambahan torsi longitudinal untuk lentur :

$$A_{s \text{ perlu}} = A_s + (A_t/4)$$

$$= 603,078 + 466,431$$

$$= 1069,509 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan lentur tarik pakai (sisi atas)

$$n = A_{s \text{ perlu}} / \text{Luasan D lentur}$$

$$= 1069,509 / (0,25 \times \pi \times 19^2)$$

$$= 3,77 \approx 4 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan lentur 4D19

Luasan tulangan lentur Tarik pasang (sisi atas)

$$A_{s \text{ pasang}} = n_{\text{pasang}} \times \text{luasan D lentur}$$

$$= 4 \times 0,25 \times \pi \times 19^2$$

$$= 1134,114 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

$$A_{s \text{ pasang}} \geq A_{s \text{ perlu}}$$

$$1134,114 \text{ mm}^2 \geq 1069,509 \text{ mm}^2 \text{ (**memenuhi**)}$$

Luasan pasang ( $A_s'$ ) tulangan lentur tekan

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.1 luasan tulangan tidak boleh kurang dari 0,3 tulangan Tarik

$$A_s' = 0,3 \times A_s$$

$$= 0,3 \times 1134,114 \text{ mm}^2$$

$$= 340,234 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan lentur tekan pakai (sisi bawah)

$$\begin{aligned}
 n &= A_{s \text{ perlu}} / \text{Luasan D lentur} \\
 &= 340,234 / (0,25 \times \pi \times 19^2) \\
 &= 1,199 \approx 2 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Luasan tulangan lentur tekan pasang (sisi bawah)

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ pasang}} &= n_{\text{pasang}} \times \text{luasan D lentur} \\
 &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\
 &= 567,057 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol jarak spasi tulangan pakai

Syarat :

$$S_{\max} \geq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm, susun 1 lapis}$$

$$S_{\max} \leq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm, susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan dipakai tulangan tarik satu lapis 4D19 dan tulangan tekan 2D19.

Kontrol tulangan tarik

$$\begin{aligned}
 S_{\max} &= \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times \phi_{\text{geser}}) - (n \times D)}{n - 1} \\
 S_{\max} &= \frac{200 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (4 \times 19)}{4 - 1} \\
 &= 8 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$S_{\max} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

$$8 \text{ mm} < 25 \text{ mm} \text{ (**tidak memenuhi**)}$$

Kontrol tulangan tekan

$$\begin{aligned}
 S_{\text{tekan}} &= \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times \phi_{\text{geser}}) - (n \times D)}{n - 1} \\
 S_{\text{tekan}} &= \frac{200 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 19)}{2 - 1} \\
 &= 62 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$S_{\max} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

$$62 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \text{ (**memenuhi**)}$$

Karena syarat jarak sejajar antar tulangan pada tulangan lentur tarik belum terpenuhi ( $S_{\max} \leq 25 \text{ mm}$ ), maka dipasang tulangan lentur tarik 2 lapis.

- Kontrol tulangan tarik lapis 1

$$S_{\max} = \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times \phi_{\text{geser}}) - (n \times D)}{n - 1}$$

$$S_{\max} = \frac{200 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 19)}{2 - 1}$$

$$= 62 \text{ mm}$$

$$S_{\max} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

$$62 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \text{ (**memenuhi**)}$$

- Kontrol tulangan tarik lapis 2

$$S_{\max} = \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times \phi_{\text{geser}}) - (n \times D)}{n - 1}$$

$$S_{\max} = \frac{200 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 19)}{2 - 1}$$

$$= 62 \text{ mm}$$

$$S_{\max} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

$$62 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \text{ (**memenuhi**)}$$

Maka dipakai tulangan lentur balok induk B2 (20/35) untuk daerah tumpuan kanan :

- Tulangan lentur tarik susun 1 lapis  
Lapis 1 = 2D19  
Lapis 2 = 2D19
- Tulangan lentur tekan susun 1 lapis  
Lapis 1 = 2D19

### **Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok**

Kuat momen lentur positif balok pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif

balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari sperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka-muka kolom di kedua ujung komponen tersebut. M lentur tumpuan (+)  $\geq 1/3 \times$  M lentur tumpuan (-).

**[SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.(1)]**

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} A_{S \text{ pasang}} &= n_{\text{pasang}} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 4 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\ &= 1134,114 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{S' \text{ pasang}} &= n_{\text{pasang}} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\ &= 567,057 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

M lentur tumpuan (+)  $\geq (1/3)$  M lentur tumpuan (-)

$$567,057 \geq (1/3) 1134,114$$

$$567,057 \geq 378,078 \text{ (**memenuhi**)}$$

Jadi pada daerah tumpuan kanan, dipasang tulangan :

Tulangan tarik = 4D19

Tulangan tekan = 2D19

### Kontrol kemampuan penampang

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \\ &= \frac{(1134,114) \cdot (400)}{0,85 \times (30) \times (200)} \\ &= 88,95 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n \text{ pasang} &= A_s \cdot f_y \cdot (d - (a/2)) \\ &= (1134,114) \cdot (400) \cdot (290,5 - (88,95/2)) \\ &= 111608158,7 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi \cdot M_n \text{ pasang} &= 0,8 \times 111608158,7 \\ &= 89286526,99 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

$$M_u \text{ perlu} = 51535039 \text{ N.mm}$$

$$\phi \cdot M_n \text{ pasang} \geq M_u \text{ perlu}$$



89286526,99 N.mm  $\geq$  51535039 N.mm (**memenuhi**)

Jadi penulangan lentur untuk balok induk B2 (20/35) pada daerah tumpuan kanan dipakai tulangan tarik 4D19 dan tulangan tekan 2D19 dengan susunan sebagai berikut :

- **Tulangan lentur tarik susun 1 lapis**  
 Lapis 1 = 2D19  
 Lapis 2 = 2D19
- **Tulangan lentur tekan susun 1 lapis**  
 Lapis 1 = 2D19

### **Daerah Lapangan**

Diambil momen yang terbesar, akibat kombinasi :  
 $1,2D+1,0L+1,0E_x+0,3E_y$

### **Garis netral dalam kondisi *balance***

$$\begin{aligned} X_b &= (600/(600+f_y)) \times d \\ &= (600/(600+400)) \times 290,5 \\ &= 174,3 \text{ mm} \end{aligned}$$

### **Garis netral maksimum**

$$\begin{aligned} X_{\max} &= 0,75 \times X_b \\ &= 0,75 \times 174,3 \text{ mm} \\ &= 130,725 \text{ mm} \end{aligned}$$

### **Garis netral minimum**

$$\begin{aligned} X_{\min} &= d' \\ &= 59,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

### **Garis netral rencana (asumsi)**

$$X_{\text{rencana}} = 150 \text{ mm}$$

### **Komponen beton tertekan**

$$\begin{aligned} C_c' &= 0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_{\text{rencana}} \\ &= 0,85 \times 30 \times 200 \times 0,8375 \times 150 \\ &= 640687,5 \text{ N} \end{aligned}$$

Luasan tulangan tarik

$$\begin{aligned}
 A_{sc} &= C_c' / f_y \\
 &= 640687,5 / 400 \\
 &= 1601,72 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned}
 M_{nc} &= A_{sc} \times f_y \times (d - (\beta_1 \times X_{rencana} / 2)) \\
 &= 1601,72 \times 400 \times (290,5 - ((0,8375 \times 150) / 2)) \\
 &= 145876649 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

Momen lentur nominal (Mn)

$$\begin{aligned}
 M_{uap} &= 33853093,25 \text{ N.mm} \\
 M_n &= 33853093,25 \text{ N.mm} / 0,8 \\
 &= 42316366,56 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0$ , maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0$ , maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned}
 M_{ns} &= M_n - M_{nc} \\
 &= 42316366,56 - 145876649 \\
 &= -103560282,4 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

Maka,  $M_{ns} \leq 0$  (**tidak perlu tulangan lentur tekan**)

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal.

➤ **Perencanaan tulangan lentur tunggal**

Diketahui :

$$f_y = 400 \text{ Mpa}$$

$$f_c' = 30 \text{ Mpa}$$

$$\beta = 0,8375$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_{balance} = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta}{f_y} + \frac{600}{600 + f_y}$$

$$\rho_{\text{balance}} = \frac{(0,85).(30).(0,8375)}{400} + \frac{600}{600+400}$$

$$= 0,653$$

$$\rho_{\text{max}} = 0,75 \times \rho_{\text{balance}}$$

$$= 0,75 \times 0,653$$

$$= 0,0244$$

$$m = \frac{f_y}{0,85.f'_c}$$

$$= \frac{400}{0,85.(30)}$$

$$= 15,69$$

$$M_u = 33853093,25 \text{ N.mm}$$

$$\phi = 0,8$$

$$d = 290,5 \text{ mm}$$

$$b = 200 \text{ mm}$$

$$M_n = (M_u)/\phi$$

$$= (33853093,25 \text{ N.mm})/(0,8)$$

$$= 42316366,56 \text{ N.mm}$$

$$R_n = (M_n)/(b.d^2)$$

$$= (42316366,56 \text{ N.mm})/((200)(290,5^2))$$

$$= 2,5071$$

$$\rho = \frac{1}{m} \cdot \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2.m.R_n}{f_y}} \right]$$

$$= \frac{1}{15,69} \cdot \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2.(15,69).(2,5071)}{400}} \right]$$

$$= 0,00661$$

Syarat,  $\rho_{\text{min}} < \rho < \rho_{\text{max}}$

$$0,0035 < 0,00661 < 0,0244 \text{ (OK)}$$

Maka  $\rho = 0,00661$

Luasan perlu tulangan lentur tarik

$$A_s = \rho \times b \times d$$

$$= (0,00661).(200 \text{ mm}).(290,5 \text{ mm})$$

$$= 383,46 \text{ mm}^2$$

Luasan tulangan perlu lentur ditambah luasan tambahan torsi longitudinal untuk lentur :

$$A_{s \text{ perlu}} = A_s + (A_t/4)$$

$$\begin{aligned}
 &= 383,46 + 446,431 \\
 &= 829,891 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan lentur tarik pakai (sisi atas)

$$\begin{aligned}
 n &= A_{s \text{ perlu}} / \text{Luasan D lentur} \\
 &= 829,891 / (0,25 \times \pi \times 19^2) \\
 &= 2,92 \approx 3 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan lentur 3D19

Luasan tulangan lentur Tarik pasang (sisi atas)

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ pasang}} &= n_{\text{pasang}} \times \text{luasan D lentur} \\
 &= 3 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\
 &= 850,586 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ pasang}} &\geq A_{s \text{ perlu}} \\
 850,586 \text{ mm}^2 &\geq 829,891 \text{ mm}^2 \text{ (**memenuhi**)}
 \end{aligned}$$

Luasan pasang ( $A_s'$ ) tulangan lentur tekan

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.1 luasan tulangan tidak boleh kurang dari 0,3 tulangan Tarik

$$\begin{aligned}
 A_s' &= 0,3 \times A_s \\
 &= 0,3 \times 850,586 \text{ mm}^2 \\
 &= 255,175 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan lentur tekan pakai (sisi bawah)

$$\begin{aligned}
 n &= A_{s \text{ perlu}} / \text{Luasan D lentur} \\
 &= 255,175 / (0,25 \times \pi \times 19^2) \\
 &= 0,899 \approx 2 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Luasan tulangan lentur tekan pasang (sisi bawah)

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ pasang}} &= n_{\text{pasang}} \times \text{luasan D lentur} \\
 &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\
 &= 567,057 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol jarak spasi tulangan pakai

Syarat :

$$S_{\text{max}} \geq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm, susun 1 lapis}$$

$S_{\max} \leq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm}$ , susun lebih dari 1 lapis  
 Direncanakan dipakai tulangan tarik satu lapis 3D19 dan tulangan tekan 2D19.

Kontrol tulangan tarik

$$S_{\max} = \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times \phi_{\text{geser}}) - (n \times D)}{n - 1}$$

$$S_{\max} = \frac{200 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (3 \times 19)}{3 - 1}$$

$$= 21,5 \text{ mm}$$

$$S_{\max} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

$$21,5 \text{ mm} < 25 \text{ mm} \text{ (**tidak memenuhi**)}$$

Kontrol tulangan tekan

$$S_{\text{tekan}} = \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times \phi_{\text{geser}}) - (n \times D)}{n - 1}$$

$$S_{\text{tekan}} = \frac{200 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 19)}{2 - 1}$$

$$= 62 \text{ mm}$$

$$S_{\max} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

$$62 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \text{ (**memenuhi**)}$$

Karena syarat jarak sejajar antar tulangan pada tulangan lentur tarik belum terpenuhi ( $S_{\max} \leq 25 \text{ mm}$ ), maka dipasang tulangan lentur tarik 2 lapis.

- Kontrol tulangan tarik lapis 1

$$S_{\max} = \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times \phi_{\text{geser}}) - (n \times D)}{n - 1}$$

$$S_{\max} = \frac{200 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 19)}{2 - 1}$$

$$= 62 \text{ mm}$$

$$S_{\max} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

$$62 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \text{ (**memenuhi**)}$$

Maka dipakai tulangan lentur balok induk B2 (20/35) untuk daerah lapangan :

- Tulangan lentur tarik susun 1 lapis  
   Lapis 1           = 2D19  
   Lapis 2           = 1D19
- Tulangan lentur tekan susun 1 lapis  
   Lapis 1           = 2D19

### **Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok**

Kuat momen lentur positif balok pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari sperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka-muka kolom di kedua ujung komponen tersebut.  $M$  lentur tumpuan (+)  $\geq 1/3 \times M$  lentur tumpuan (-).

[SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.(1)]

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} A_{s \text{ pasang}} &= n_{\text{pasang}} \times \text{luasan } D \text{ lentur} \\ &= 3 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\ &= 850,586 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{s' \text{ pasang}} &= n_{\text{pasang}} \times \text{luasan } D \text{ lentur} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\ &= 567,057 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq (1/3) M \text{ lentur tumpuan (-)}$$

$$567,057 \geq (1/3) 850,586$$

$$567,057 \geq 283,529 \text{ (memenuhi)}$$

Jadi pada daerah lapangan, dipasang tulangan :

$$\text{Tulangan tarik} = 3D19$$

$$\text{Tulangan tekan} = 2D19$$

### **Kontrol kemampuan penampang**

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \times f'_c \times b}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{(850,586) \cdot (400)}{0,85 \times (30) \times (200)} \\
 &= 66,71 \text{ mm} \\
 M_n \text{ pasang} &= A_s \cdot f_y \cdot (d - (a/2)) \\
 &= (850,586) \cdot (400) \cdot (290,5 - (66,71/2)) \\
 &= 87489574,74 \text{ N.mm} \\
 \phi \cdot M_n \text{ pasang} &= 0,8 \times 87489574,74 \\
 &= 69991659,83 \text{ N.mm} \\
 M_u \text{ perlu} &= 33853093,25 \text{ N.mm} \\
 \phi \cdot M_n \text{ pasang} &\geq M_u \text{ perlu} \\
 69991659,83 \text{ N.mm} &\geq 33853093,25 \text{ N.mm} \text{ (**memenuhi**)}
 \end{aligned}$$

Jadi penulangan lentur untuk balok induk B2 (20/35) pada daerah lapangan dipakai tulangan tarik 3D19 dan tulangan tekan 2D19 dengan susunan sebagai berikut :

- **Tulangan lentur tarik susun 1 lapis**  
 Lapis 1 = 2D19  
 Lapis 2 = 1D19
- **Tulangan lentur tekan susun 1 lapis**  
 Lapis 1 = 2D19

#### 4.4.2.3. Perhitungan Penulangan Geser

Tipe balok : B1 (25/45)  
 Dimensi balok (b) : 200 mm  
 Dimensi balok (h) : 350 mm  
 Kuat tekan beton ( $f_c'$ ) : 30 Mpa  
 Kuat leleh tulangan geser ( $f_{yv}$ ) : 320 Mpa  
 Diameter tulangan geser ( $\emptyset$ ) : 10 mm  
 $\beta_1$  : 0,8375  
 Faktor reduksi kekuatan geser : 0,75  
 Berdasarkan perhitungan tulangan lentur pada balok induk B2 (20/35) elevasi +4,50, didapat :

##### *Momen Nominal Kiri*

Momen nominal kiri diperoleh dari hasil perhitungan tulangan lentur tumpuan kiri dengan luasan tulangan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \\
 &= \frac{(1134,114) \cdot (400)}{0,85 \times (30) \times (200)} \\
 &= 88,95 \text{ mm} \\
 M_n \text{ pasang} &= A_s \cdot f_y \cdot (d - (a/2)) \\
 &= (1134,114) \cdot (400) \cdot (290,5 - (88,95/2)) \\
 &= 111608158,7 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

### *Momen Nominal Kanan*

Momen nominal kanan diperoleh dari hasil perhitungan tulangan lentur tumpuan kanan dengan luasan tulangan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \\
 &= \frac{(1134,114) \cdot (400)}{0,85 \times (30) \times (200)} \\
 &= 88,95 \text{ mm} \\
 M_n \text{ pasang} &= A_s \cdot f_y \cdot (d - (a/2)) \\
 &= (1134,114) \cdot (400) \cdot (290,5 - (88,95/2)) \\
 &= 111608158,7 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil *output* dan diagram gaya dalam akibat kombinasi 1,2D+1,0L+0,3E<sub>x</sub>+1,0E<sub>y</sub> dari analisa SAP 2000 didapatkan :

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.2, V<sub>u</sub> diambil tepat dari muka kolom :

Gaya geser terfaktor V<sub>u</sub> = 60276,06 N

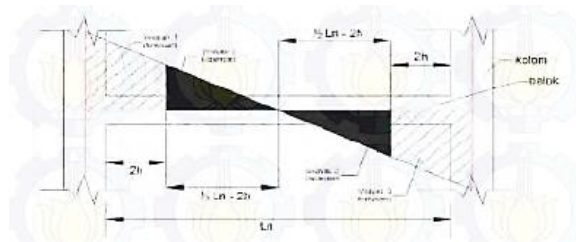
### Pembagian Wilayah Geser Balok

Dalam perhitungan tulangan geser (senggang) pada balok, wilayah balok dibagi menjadi 3 wilayah yaitu :

- Wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan), sejarak dua kali tinggi balok dari muka kolom ke arah tengah bentang (**SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4.2**)



- Wilayah 2 (daerah lapangan), dimulai dari wilayah 1 atau 3 ke  $\frac{1}{2}$  bentang balok.



**Gambar 4.64.** Pembagian Wilayah Geser pada Balok

$$\sqrt{f'_c} < (25/3)$$

$$\sqrt{30} < 8,33$$

$$5,477 < 8,33 \text{ (memenuhi)}$$

Kuat geser beton (SNI 03-2847-2013 Pasal 11.2.1.1)

$$\begin{aligned} V_C &= 0,17 \times \sqrt{f'_c} \times b \times d \\ &= 0,17 \times \sqrt{30} \times 200 \times 290,5 \\ &= 54098,557 \text{ N} \end{aligned}$$

Kuat geser tulangan geser

$$\begin{aligned} V_{S \text{ min}} &= 0,33 \times b \times d \\ &= 0,33 \times 200 \times 290,5 \\ &= 19173 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{S \text{ max}} &= 0,33 \times \sqrt{f'_c} \times b \times d \\ &= 0,33 \times \sqrt{30} \times 200 \times 290,5 \\ &= 105014,846 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2. V_{S \text{ max}} &= 0,66 \times \sqrt{f'_c} \times b \times d \\ &= 0,66 \times \sqrt{30} \times 200 \times 290,5 \\ &= 210029,692 \text{ N} \end{aligned}$$

Penulangan geser balok

1. Pada wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan)

Gaya geser diperoleh dari :

$$V_{u1} = \frac{M_{n1} + M_{nr}}{L_n} + \frac{W_u \times L_n}{2}$$

$$V_{u1} = \frac{M_{nl} + M_{nr}}{L_n} + V_u$$

**(SNI 03-2847-2013 pasal 21.3)**

Dimana :

$V_{U1}$  = Gaya geser pada muka perletakan

$M_{nl}$  = Momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kiri)

$M_{nr}$  = Momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kanan)

$L_n$  = Panjang balok

Maka :

$$\begin{aligned} V_{u1} &= \frac{111608158,7 + 111608158,7}{5000} + 60276,06 \\ &= 104919,323 \text{ N} \end{aligned}$$

Kondisi 1

$V_U \leq 0,5 \phi V_C$ , tidak perlu tulangan geser

$$V_U = 104919,323 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} 0,5 \phi V_C &= 0,5 \cdot (0,75) \cdot (54098,557) \\ &= 20286,96 \text{ N} \end{aligned}$$

$104919,323 \text{ N} > 20286,96 \text{ N}$  (**Tidak memenuhi**)

Kondisi 2

$0,5 \phi V_C \leq V_U \leq \phi V_C$ , tulangan geser

$$\begin{aligned} 0,5 \phi V_C &= 0,5 \cdot (0,75) \cdot (54098,557) \\ &= 20286,96 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_C &= (0,75) \cdot (54098,557) \\ &= 40573,92 \text{ N} \end{aligned}$$

$$V_U = 104919,323 \text{ N}$$

$20286,96 \text{ N} \leq 104919,323 \text{ N} > 40573,92 \text{ N}$  (**Tidak memenuhi**)

Kondisi 3

$\phi V_C \leq V_U \leq \phi (V_C + V_{S \min})$ , tulangan geser

$$\begin{aligned} \phi V_C &= (0,75) \cdot (54098,557) \\ &= 40573,92 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi (V_C + V_{S \min}) &= 0,75 \cdot (54098,557 + 19173) \\ &= 54953,67 \text{ N} \end{aligned}$$

$$V_U = 104919,323 \text{ N}$$

$$40573,92 \text{ N} \leq 104919,323 \text{ N} > 54953,67 \text{ N} \text{ (**Tidak memenuhi**)}$$

#### Kondisi 4

$\phi \cdot (V_C + V_{S \min}) \leq V_U \leq \phi (V_C + V_{S \max})$ , tulangan geser

$$\begin{aligned} \phi \cdot (V_C + V_{S \min}) &= 0,75 \cdot (54098,557 + 19173) \\ &= 54953,67 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi \cdot (V_C + V_{S \max}) &= 0,75 \cdot (54098,557 + 105014,846) \\ &= 119335,05 \text{ N} \end{aligned}$$

$$V_U = 104919,323 \text{ N}$$

$$54953,67 \text{ N} \leq 104919,323 \text{ N} \leq 119335,05 \text{ N}$$

**(memenuhi)**

#### Kondisi 5

$\phi (V_C + V_{S \max}) \leq V_U \leq \phi (V_C + 2 \cdot V_{S \max})$ , tulangan geser

$$\begin{aligned} \phi \cdot (V_C + V_{S \max}) &= 0,75 \cdot (54098,557 + 105014,846) \\ &= 119335,05 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi \cdot (V_C + 2V_{S \max}) &= 0,75 \cdot (54098,557 + 210029,692) \\ &= 198096,19 \text{ N} \end{aligned}$$

$$V_U = 104919,323 \text{ N}$$

$$119335,05 \text{ N} > 104919,323 \text{ N} \leq 198096,19 \text{ N}$$

**(Tidak memenuhi)**

Maka direncanakan penulangan geser balok diambil berdasarkan **kondisi 4**.

$$\begin{aligned} V_{S \text{ perlu}} &= \frac{V_U - \phi \cdot V_C}{\phi} \\ &= \frac{104919,323 - (0,75) \cdot (54098,557)}{0,75} \\ &= 85793,874 \text{ N} \end{aligned}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser Ø10 mm dengan 2 kaki, maka luasan tulangan geser :

$$\begin{aligned} A_v &= (0,25 \times \pi \times \emptyset^2) \times n_{\text{kaki}} \\ &= 0,25 \times \pi \times 10^2 \times 2 \\ &= 157,88 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jarak tulangan geser perlu ( $S_{\text{perlu}}$ )

$$\begin{aligned}
 S_{\text{perlu}} &= \frac{A_v \times f_{yv} \times d}{V_{s \text{ perlu}}} \\
 &= \frac{(157,88) \times (320) \times (290,5)}{85793,874} \\
 &= 171,067 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka dipasang jarak 180 mm antar tulangan geser.

Kontrol jarak spasi tulangan geser berdasarkan kondisi 4

$$S_{\text{max}} < (d/2) \text{ atau } S_{\text{max}} < 600 \text{ mm}$$

- 180 mm < (290,5/2)
- 180 mm > 145,25 mm (**Tidak memenuhi**)
- 180 mm < 600 (**memenuhi**)

**Cek persyaratan SRPMM untuk kekuatan geser balok**

Pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus dipasang sengkang sepanjang jarak dua kali komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama dipasang pada jarak tidak lebih dari 50 mm dari muka perletakan.

Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi :

- a.  $d/4$
- b. delapan kali diameter tulangan longitudinal
- c. 24 kali diameter sengkang
- d. 300 mm

**(SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.(2))**

$$S_{\text{pakai}} < (d/4)$$

$$180 \text{ mm} < (290,5/4) \text{ mm}$$

$$180 \text{ mm} > 72,625 \text{ mm} \text{ (**Tidak memenuhi**)}$$

$$S_{\text{pakai}} < 8.D_{\text{lentur}}$$

$$180 \text{ mm} < 8.(19) \text{ mm}$$

$$180 \text{ mm} > 152 \text{ mm} \text{ (**Tidak memenuhi**)}$$

$$S_{\text{pakai}} < 24.\emptyset_{\text{sengkang}}$$

$$180 \text{ mm} < 240 \text{ mm}$$

$$180 \text{ mm} < 240 \text{ mm} \text{ (Tidak memenuhi)}$$

$$S_{\text{pakai}} < 300 \text{ mm}$$

$$180 \text{ mm} < 300 \text{ mm} \text{ (memenuhi)}$$

**Jadi, penulangan geser balok untuk balok B2 (20/35) pada wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan) dipasang Ø10-180 dengan sengkang 2 kaki.**

2. Pada wilayah 2 (daerah lapangan)

Gaya geser pada wilayah 2 diperoleh dengan menggunakan metode perbandingan segitiga, dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \frac{V_{u2}}{\frac{1}{2} \cdot L_n - 2 \cdot h} &= \frac{V_{u1}}{\frac{1}{2} \cdot L_n} \\ V_{u2} &= \frac{V_{u1} \times (\frac{1}{2} \cdot L_n - 2 \cdot h)}{\frac{1}{2} \cdot L_n} \\ &= \frac{(104919,323) \times (\frac{1}{2}(5000) - 2 \cdot (350))}{\frac{1}{2} \cdot (5000)} \\ &= 75541,913 \text{ N} \end{aligned}$$

Kondisi 1

$$V_u \leq 0,5 \phi V_c, \text{ tidak perlu tulangan geser}$$

$$V_u = 75541,913 \text{ N}$$

$$0,5 \cdot \phi \cdot V_c = 0,5 \cdot (0,75) \cdot (54098,557)$$

$$= 20286,96 \text{ N}$$

$$75541,913 \text{ N} > 20286,96 \text{ N} \text{ (Tidak memenuhi)}$$

Kondisi 2

$$0,5 \phi V_c \leq V_u \leq \phi V_c, \text{ tulangan geser}$$

$$0,5 \cdot \phi \cdot V_c = 0,5 \cdot (0,75) \cdot (54098,557)$$

$$= 20286,96 \text{ N}$$

$$\phi \cdot V_c = (0,75) \cdot (54098,557)$$

$$= 40573,92 \text{ N}$$

$$V_u = 75541,913 \text{ N}$$

$$20286,96 \text{ N} \leq 75541,913 \text{ N} > 40573,92 \text{ N} \text{ (Tidak memenuhi)}$$

Kondisi 3

$\phi \cdot V_C \leq V_U \leq \phi \cdot (V_C + V_{S \min})$ , tulangan geser

$$\begin{aligned}\phi \cdot V_C &= (0,75) \cdot (54098,557) \\ &= 40573,92 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi \cdot (V_C + V_{S \min}) &= 0,75 \cdot (54098,557 + 19173) \\ &= 54953,67 \text{ N}\end{aligned}$$

$$V_U = 75541,913 \text{ N}$$

$40573,92 \text{ N} \leq 75541,913 \text{ N} > 54953,67 \text{ N}$  (**Tidak memenuhi**)

Kondisi 4

$\phi \cdot (V_C + V_{S \min}) \leq V_U \leq \phi \cdot (V_C + V_{S \max})$ , tulangan geser

$$\begin{aligned}\phi \cdot (V_C + V_{S \min}) &= 0,75 \cdot (54098,557 + 19173) \\ &= 54953,67 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi \cdot (V_C + V_{S \max}) &= 0,75 \cdot (54098,557 + 105014,846) \\ &= 119335,05 \text{ N}\end{aligned}$$

$$V_U = 75541,913 \text{ N}$$

$54953,67 \text{ N} \leq 75541,913 \text{ N} \leq 119335,05 \text{ N}$  (**memenuhi**)

Kondisi 5

$\phi \cdot (V_C + V_{S \max}) \leq V_U \leq \phi \cdot (V_C + 2 \cdot V_{S \max})$ , tulangan geser

$$\begin{aligned}\phi \cdot (V_C + V_{S \max}) &= 0,75 \cdot (54098,557 + 105014,846) \\ &= 119335,05 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\phi \cdot (V_C + 2V_{S \max}) &= 0,75 \cdot (54098,557 + 210029,692) \\ &= 198096,19 \text{ N}\end{aligned}$$

$$V_U = 75541,913 \text{ N}$$

$119335,05 \text{ N} > 75541,913 \text{ N} \leq 198096,19 \text{ N}$  (**Tidak memenuhi**)

Maka direncanakan penulangan geser balok diambil berdasarkan **kondisi 4**.

$$\begin{aligned}V_{S \text{ perlu}} &= \frac{V_U - \phi \cdot V_C}{\phi} \\ &= \frac{75541,913 - (0,75) \cdot (54098,557)}{0,75}\end{aligned}$$

$$= 46623,994 \text{ N}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser Ø10 mm dengan 2 kaki, maka luasan tulangan geser :

$$\begin{aligned} A_v &= (0,25 \times \pi \times \varnothing^2) \times n_{\text{kaki}} \\ &= 0,25 \times \pi \times 10^2 \times 2 \\ &= 157,88 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jarak tulangan geser perlu ( $S_{\text{perlu}}$ )

$$\begin{aligned} S_{\text{perlu}} &= \frac{A_v \times f_{yv} \times d}{V_{s \text{ perlu}}} \\ &= \frac{(157,88) \times (320) \times (290,5)}{46623,994} \\ &= 314,784 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka dipasang jarak 350 mm antar tulangan geser.

Kontrol jarak spasi tulangan geser berdasarkan kondisi 4.

### **Cek persyaratan SRPMM untuk kekuatan geser balok**

Pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus dipasang sengkang sepanjang jarak dua kali komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama dipasang pada jarak tidak lebih dari 50 mm dari muka perletakan.

Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi :

- $d/4$
- delapan kali diameter tulangan longitudinal
- 24 kali diameter sengkang
- 300 mm

**(SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.(2))**

$$S_{\text{pakai}} < (d/4)$$

$$350 \text{ mm} < (290,5/4) \text{ mm}$$

$$350 \text{ mm} > 72,625 \text{ mm} \text{ (Tidak memenuhi)}$$

$$S_{\text{pakai}} < 8.D_{\text{lentur}}$$

$$350 \text{ mm} < 8.(19) \text{ mm}$$

$$350 \text{ mm} > 152 \text{ mm} \text{ (Tidak memenuhi)}$$

$$S_{\text{pakai}} < 24. \emptyset_{\text{senggang}}$$

$$350 \text{ mm} < 24.(10) \text{ mm}$$

$$350 \text{ mm} > 240 \text{ mm} \text{ (Tidak memenuhi)}$$

$$S_{\text{pakai}} < 300 \text{ mm}$$

$$350 \text{ mm} > 300 \text{ mm} \text{ (Tidak memenuhi)}$$

**Jadi, penulangan geser balok untuk balok B2 (20/35) pada wilayah 2 (daerah lapangan) dipasang Ø10-300 dengan senggang 2 kaki.**

#### 4.4.2.4. Perhitungan Panjang Penyaluran

Gaya tarik dan tekan pada tulangan di setiap penampang komponen struktur beton bertulangan harus disalurkan pada masing-masing penampang melalui penyaluran tulangan. Adapun perhitungan penyaluran tulangan berdasarkan **SNI 03-2847-2013 pasal 12.**

- Penyaluran tulangan dalam kondisi tarik  
 Penyaluran tulangan dalam kondisi tarik dihitung berdasarkan **SNI 03-2847-2013 pasal 12.2**  
 Panjang penyaluran untuk batang ulir dan kawat dalam kondisi tarik tidak boleh kurang dari 300 mm.

**(SNI 03-2847-2013 pasal 12.2.1)**

Untuk panjang penyaluran batang ulir dan kawat ulir dapat dihitung berdasarkan **SNI 03-2847-2013 tabel pada pasal 12.2** sebagai berikut.

	Batang tulangan atau kawat ulir D-19 dan yang lebih kecil	Batang tulangan D-22 dan yang lebih besar
Spasi bersih batang tulangan atau kawat yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari $d_b$ , selimut bersih tidak kurang dari $d_b$ , dan senggang atau pengikat sepanjang $\ell_d$ tidak kurang dari minimum Tata Cara atau Spasi bersih batang tulangan atau kawat yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari $2d_b$ dan selimut bersih tidak kurang dari $d_b$	$\left( \frac{f_y \Psi_s \Psi_e}{2.1 \lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b$	$\left( \frac{f_y \Psi_s \Psi_e}{1.7 \lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b$
Kasus-kasus lain	$\left( \frac{f_y \Psi_s \Psi_e}{1.4 \lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b$	$\left( \frac{f_y \Psi_s \Psi_e}{1.1 \lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b$

**Gambar 4.65.** Panjang Penyaluran Batang Ulir dan Kawat Ulir  
 Dimana,

$\lambda_d$  = panjang penyaluran tulangan kondisi Tarik



$d_b$  = diameter tulangan lentur yang dipakai

$\psi_t$  = faktor lokasi penulangan

$\psi_e$  = faktor pelapis

dimana nilai dari masing-masing faktor :

$\lambda = 1,0$  (untuk beton berat normal)

$\psi_t = 1,3$  (beton segar dicor di bawah panjang penyaluran atau sambungan)

$\psi_e = 1,0$  (untuk tulangan tidak dilapisi dan dilapisi bahan seng/ digalvanis)

$d_b = 19 \text{ mm}$

### Perhitungan

$$\begin{aligned}\lambda_d &= \frac{f_y \cdot \psi_t \cdot \psi_e}{2,1 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c}} \cdot d_b \\ &= \frac{(400) \cdot (1,3) \cdot (1,0)}{2,1 \cdot (1,0) \cdot \sqrt{300}} \cdot (19) \\ &= 858,968 \text{ mm}\end{aligned}$$

Syarat :

$\lambda_d > 300 \text{ mm}$

$858,968 \text{ mm} > 300 \text{ mm}$  (**memenuhi**)

1. Reduksi panjang penyaluran tulangan balok tumpuan kiri (tulangan lebih) :

$$\begin{aligned}\lambda_{\text{reduksi}} &= \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ pasang}} \cdot \lambda_d \\ &= \frac{923,678}{1134,114} \cdot (858,968) \\ &= 699,585 \text{ mm} \\ &\approx 500 \text{ mm}\end{aligned}$$

Maka panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tarik di daerah tumpuan kiri 500 mm.

2. Reduksi panjang penyaluran tulangan balok tumpuan kanan (tulangan lebih) :

$$\begin{aligned}\lambda_{\text{reduksi}} &= \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ pasang}} \cdot \lambda_d \\ &= \frac{1069,509}{1134,114} \cdot (858,968) \\ &= 810,037 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\approx 820 \text{ mm}$$

Maka panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tarik di daerah tumpuan kanan 820 mm.

3. Reduksi panjang penyaluran tulangan balok lapangan (tulangan lebih) :

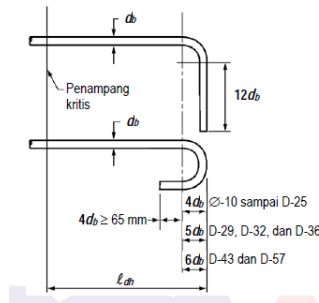
$$\begin{aligned}\lambda_{\text{reduksi}} &= \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ pasang}} \cdot \lambda_d \\ &= \frac{829,891}{850,586} \cdot (858,968) \\ &= 838,069 \text{ mm} \\ &\approx 840 \text{ mm}\end{aligned}$$

Maka panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tarik di daerah lapangan 840 mm.

- Penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik  
Penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik dihitung berdasarkan **SNI 03-2847-2013 pasal 12.5**. Panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi Tarik tidak boleh kurang dari 150 mm.

**(SNI 03-2847-2013 pasal 12.5.1)**

Berdasarkan SNI 03-1847-2013 pasal 12.5.2. Untuk batang tulangan ulir  $\lambda_d$  harus sebesar  $(0,24 \cdot \psi_e \cdot f_y / \lambda \cdot \sqrt{f_c'}) / d_b$  dengan  $\psi_e$  diambil sebesar 1,2 untuk tulangan dilapisi epoksi, dan  $\lambda$  diambil 0,75 untuk beton ringan. Untuk kasus lainnya,  $\psi_e$  dan  $\lambda$  harus diambil sebesar 1,0.



**Gambar 4.66.** Detail Batang Tulangan Berkait untuk Penyaluran Kait Standart

$$\lambda_{dh} = \frac{0,24 \cdot \psi_e \cdot f_y}{\lambda \cdot \sqrt{f'_c}} \times db$$

$$\lambda_{dh} = \frac{0,24 \times 1,0 \times 400}{1,0 \sqrt{30}} \times 19$$

$$= 333,01 \text{ mm}$$

Syarat :  $\lambda_{dh} > 150 \text{ mm}$

333,01 mm > 150 mm (**memenuhi**)

1. Reduksi panjang penyaluran tulangan balok tumpuan kiri (tulangan lebih) :

$$\lambda_{\text{reduksi}} = \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ pasang}} \cdot \lambda_d$$

$$= \frac{923,678}{1134,114} \cdot (333,01)$$

$$= 271,219 \text{ mm}$$

$$\approx 280 \text{ mm}$$

Maka panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tarik di tumpuan kiri 280 mm.

2. Reduksi panjang penyaluran tulangan balok tumpuan kanan (tulangan lebih) :

$$\lambda_{\text{reduksi}} = \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ pasang}} \cdot \lambda_d$$

$$= \frac{1069,509}{1134,114} \cdot (333,01)$$

$$= 314,04 \text{ mm}$$

$$\approx 320 \text{ mm}$$

Maka panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tarik di tumpuan kanan 320 mm.

3. Reduksi panjang penyaluran tulangan balok lapangan (tulangan lebih) :

$$\begin{aligned}\lambda_{\text{reduksi}} &= \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ pasang}} \cdot \lambda_d \\ &= \frac{829,891}{850,586} \cdot (333,01) \\ &= 320,99 \text{ mm} \\ &\approx 330 \text{ mm}\end{aligned}$$

Maka panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tarik di lapangan 330 mm.

Panjang kait

$$12.d_b = 12.(19)$$

$$= 228 \text{ mm}$$

- Penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tekan  
Penyaluran tulangan dalam kondisi tekan dihitung berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 12.3.  
Panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tekan tidak boleh kurang dari 200 mm.

**(SNI 03-2847-2013 pasal 12.3.1)**

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 12.3.2 panjang penyaluran diambil terbesar dari :

$$\begin{aligned}\lambda_{dc} &= \frac{0,24 \cdot f_y}{\lambda \cdot \sqrt{f'_c}} \times d_b \\ \lambda_{dc} &= \frac{0,24 \cdot (400)}{1,0\sqrt{30}} \times 19 \\ \lambda_{dc} &= 333,02 \text{ mm} \dots\dots\dots(1)\end{aligned}$$

$$\lambda_{dc} = (0,043 \times f_y) \times d_b$$

$$\lambda_{dc} = (0,043 \times 400) \times 19$$

$$\lambda_{dc} = 326,80 \text{ mm} \dots\dots\dots(2)$$

Diambil 333,02 mm

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih) :

$$\begin{aligned}\lambda_{\text{reduksi}} &= \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ pasang}} \cdot \lambda_d \\ &= \frac{340,234}{567,057} \cdot (333,02) \\ &= 199,811 \text{ mm} \\ &\approx 200 \text{ mm}\end{aligned}$$

Maka panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tekan 200 mm.

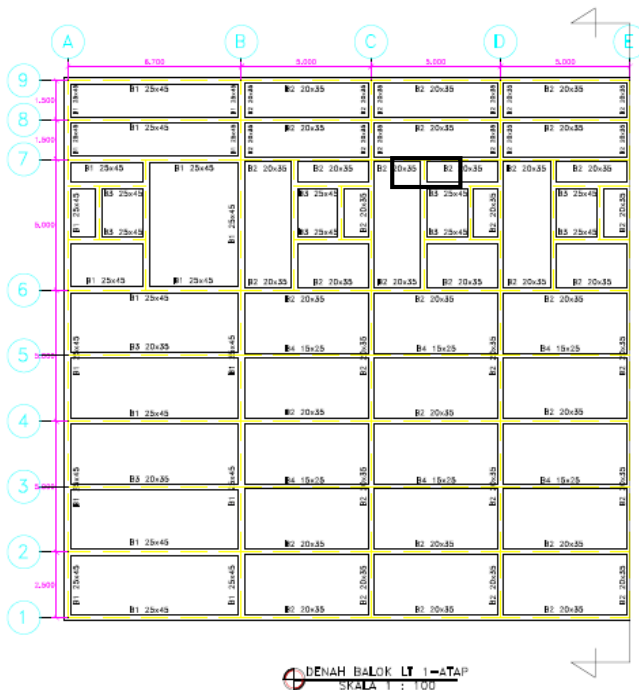
Panjang kait :

$$\begin{aligned}4d_b + 4d_b &= 4(19) + 4(19) \\ &= 152 \text{ mm}\end{aligned}$$

#### 4.4.3. Perhitungan Balok Anak B4 As 6-7; E-F

##### ❖ Data perencanaan

Perhitungan tulangan balok anak : B4 (15/25) As 6-7; E-F elevasi  $\pm 11,64$ . Berikut data-data perencanaan balok, gambar denah pembalokan, hasil *output* dan diagram gaya dalam dari analisa SAP 2000, ketentuan perhitungan penulangan balok dengan metode SRPMM, perhitungan serta hasil akhir gambar penampang balok adalah sebagai berikut:



**Gambar 4.67.** Denah Pembalok Lantai

##### ❖ Data-data penulangan balok :

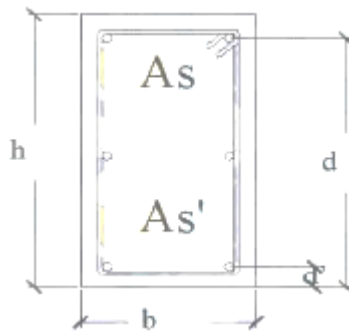
Tipe balok

: B4 (20/35)

Frame Balok	: 1688
Bentang balok	: 1000 mm
Dimensi balok (b)	: 200 mm
Dimensi balok (h)	: 350 mm
Kuat tekan beton ( $f_c'$ )	: 30 Mpa
Kuat leleh tulangan lentur ( $f_y$ )	: 400 Mpa
Kuat leleh tulangan geser ( $f_{yv}$ )	: 320 Mpa
Kuat leleh tulangan punter ( $f_{yt}$ )	: 320 Mpa
Tebal selimut beton	: 30 mm
Diameter tulangan lentur (D)	: 16 mm
Diameter tulangan geser ( $\emptyset$ )	: 10 mm
Diameter tulangan puntir (D)	: 13 mm
Jarak spasi tulangan sejajar	: 25 mm
<b>(SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.1)</b>	
Jarak spasi tulangan antarlapis	: 25 mm
<b>(SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.2)</b>	
Tebal selimut beton ( $t_{decking}$ )	: 30 mm
<b>(SNI 03-2847-2013 pasal 7.7.1)</b>	
Faktor $\beta_1$	: 0,8375
<b>(SNI 03-2847-2013 pasal 10.2.7.(1))</b>	
Faktor reduksi kekuatan lentur	: 0,8
<b>(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(1))</b>	
Faktor reduksi kekuatan geser	: 0,75
<b>(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(3))</b>	
Faktor reduksi kekuatan puntir	: 0,75
<b>(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(3))</b>	

Maka tinggi efektif balok :

$$\begin{aligned}
 d &= h - \text{decking} - \emptyset_{\text{senggang}} - \frac{1}{2} \emptyset_{\text{lentur}} \\
 &= (250 - 30 - 10 - (\frac{1}{2} 16)) \text{ mm} \\
 &= 202 \text{ mm} \\
 d' &= \text{decking} + \emptyset_{\text{senggang}} + \frac{1}{2} \emptyset_{\text{lentur}} \\
 &= (30 + 10 + (\frac{1}{2} 16)) \text{ mm} \\
 &= 48 \text{ mm}
 \end{aligned}$$



**Gambar 4.68.** Tinggi Efektif Balok

- ❖ Hasil *Output* dan Diagram Gaya dalam dari analisa SAP 2000 :

Dari analisa SAP 2000, maka didapatkan hasil *output* dan diagram gaya dalam sehingga digunakan dalam proses perhitungan penulangan balok induk.

Adapun dalam pengambilan hasil *output* dan diagram gaya dalam dari analisa SAP 2000 yaitu gaya yang ditinjau harus ditentukan dan digunakan akibat dari beberapa macam kombinasi pembebanan. Kombinasi pembebanan yang digunakan terdiri dari kombinasi beban gravitasi dan kombinasi beban gempa.

Kombinasi beban gravitasi :

- 1,4D
- 1,2D+1,6L+1,0Lr
- 1,2D+1,6L+1,0W
- 0,9D+1,0W

Kombinasi beban gempa :

Pembebanan dari beban gravitasi dan beban gempa positif serah sumbu X.

- 1,2D+1,0L+1,0Ex+0,3Ey
- 1,2D+1,0L+0,3Ex+1,0Ey



### Hasil output diagram torsi

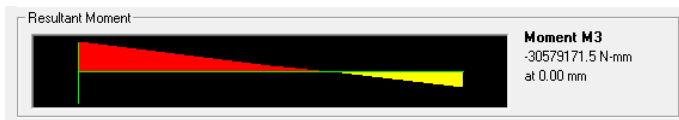


**Gambar 4.69.** Diagram Torsi Balok

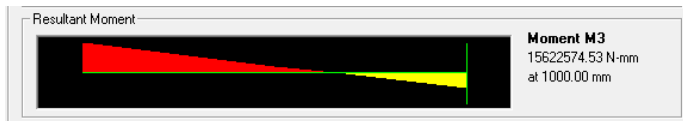
Kombinasi 1,2D+1,6L+0,5W

Momen torsi = 1400,66 N.mm

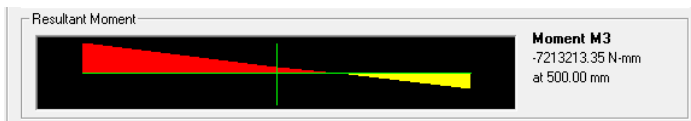
### Hasil output diagram momen lentur



**Gambar 4.70.** Diagram Momen Lentur Tumpuan Kiri Balok Anak B4 20/35



**Gambar 4.71.** Diagram Momen Lentur Tumpuan Kanan Balok Anak B4 20/35



**Gambar 4.72.** Diagram Momen Lentur Lapangan Balok Anak B4 20/35

Kombinasi 1,2D+1,6L+0,5W

Momen tumpuan kiri = 30579171,5 N.mm

Momen tumpuan kanan = 15622574,53 N.mm

Kombinasi 1,2D+1,6L+0,5W

Momen lapangan = 7213213,35 N.mm

### Hasil *output* diagram gaya geser



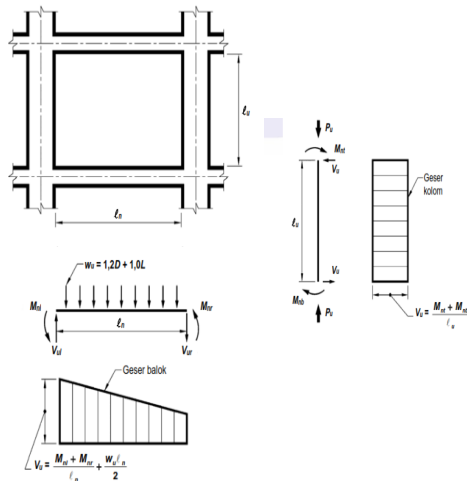
**Gambar 4.73.** Diagram Geser pada Tumpuan  
Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.2,  $V_u$  diambil tepat dari muka kolom sejarak 50 cm dari as kolom.  
Gaya geser terfaktor  $V_u = 47262,09 \text{ N}$

- ❖ Syarat gaya aksial pada balok :  
Balok harus memenuhi definisi komponen struktur lentur. Detail penulangan SRPMM harus memenuhi ketentuan-ketentuan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.(2), bila beban aksial tekan terfaktor pada komponen struktur tidak melebihi  $(A_g \cdot f_c')/10$ .

$$\begin{aligned}
 A_g &= b \times h \\
 &= 150 \text{ mm} \times 250 \text{ mm} \\
 &= 37500 \text{ mm}^2 \\
 F_c' &= 30 \text{ Mpa} \\
 (A_g \cdot f_c')/10 &= ((37500) \cdot (30))/10 \\
 &= 112500 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan analisa struktur SAP 2000, gaya aksial tekan akibat kombinasi 1,2D+1,6L+0,5W pada komponen struktur sebesar  $47262,09 \text{ N} < 112500 \text{ N}$ .

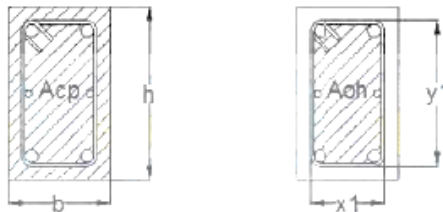
**Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3. mengenai ketentuan perhitungan penulangan balok dengan menggunakan metode sistem rangka pemikul momen menengah.**



**Gambar 4.74.** Gaya Lintang Rencana Komponen Balok pada SRPMM

**Periksa kecukupan dimensi penampang terhadap beban geser lentur dan puntir**

Ukuran penampang balok yang dipakai = 15/25



**Gambar 4.75.** Luasan  $A_{cp}$  dan  $P_{cp}$

**Luasan yang dibatasi oleh keliling luar irisan penampang beton**

$$\begin{aligned} A_{cp} &= b_{\text{balok}} \times h_{\text{balok}} \\ &= 150 \text{ mm} \times 250 \text{ mm} \\ &= 37500 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Perimeter luas irisan penampang beton  $A_{cp}$ 

$$\begin{aligned}
 P_{cp} &= 2 \times (b_{balok} + h_{balok}) \\
 &= 2 \times (150 \text{ mm} + 250 \text{ mm}) \\
 &= 800 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Luas penampang dibatasi  $A_s$  tulangan sengkang

$$\begin{aligned}
 A_{oh} &= (b_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \emptyset_{geser}) \times (h_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \emptyset_{geser}) \\
 &= (150 \text{ mm} - 2 \times 30 \text{ mm} - 10 \text{ mm}) \times (250 \text{ mm} - 2 \times 30 \text{ mm} - 10 \text{ mm}) \\
 &= 14400 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Keliling penampang dibatasi  $A_s$  tulangan sengkang

$$\begin{aligned}
 P_h &= 2 \times [(b_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \emptyset_{geser}) + (h_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \emptyset_{geser})] \\
 &= 2 \times [(150 \text{ mm} - 2 \times 30 \text{ mm} - 10 \text{ mm}) + (250 \text{ mm} - 2 \times 30 \text{ mm} - 10 \text{ mm})] \\
 &= 520 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

**4.4.3.1. Perhitungan Penulangan Torsi**

Berdasarkan hasil *output* diagram torsi pada SAP diperoleh momen puntir terbesar :

Momen puntir ultimate

Akibat kombinasi 1,2D+1,6L+0,5W

$$T_u = 1400,66 \text{ N.mm}$$

$$V_u = 47262,09 \text{ N}$$

Momen puntir nominal

$$\begin{aligned}
 T_n &= T_u / \phi \\
 &= (1400,66) / 0,75 \\
 &= 1867,547 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

Pengaruh torsi dapat diabaikan bila momen puntir terfaktor  $T_u$  besarnya kurang dari pasa (SNI 03-2847:2013 pasal 11.5.1) :

$$\begin{aligned}
 T_{u \text{ min}} &= \phi \times 0,083 \times \lambda \times \sqrt{f'_c} \times (A_{cp}^2 / P_{cp}^2) \\
 &= 0,75 \times 0,083 \times 1 \times \sqrt{30} \times (37500^2 / 800) \\
 &= 599338,99 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

Sedangkan untuk momen puntir terfaktor maksimum  $T_u$  dapat diambil sebesar **(SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.2.2) :**

$$\begin{aligned} T_{u \max} &= \phi \times 0,33 \times \lambda \times \sqrt{f'_c} \times (A_{cp}^2 / P_{cp}^2) \\ &= 0,75 \times 0,33 \times 1 \times \sqrt{30} \times (37500^2 / 800) \\ &= 2382914,06 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Cek pengaruh momen puntir :

Syarat :

$T_{u \min} > T_u$  , tidak memerlukan tulangan puntir

$T_{u \min} < T_u$  , memerlukan tulangan puntir

$$T_u = 1400,66 \text{ N.mm}$$

$$T_{u \min} = 599338,99 \text{ N.mm}$$

$T_{u \min} > T_u$  , **tidak memerlukan tulangan puntir**

Jadi penampang balok tidak memerlukan penulangan puntir yang serupa sengkang-sengkang tertutup dan tulangan memanjang.

**Cek kecukupan penampang menahan momen puntir**

Dimensi penampang melintang harus memenuhi ketentuan berikut : **(SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.3.1)**

$$\begin{aligned} &\sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w \cdot d}\right)^2 + \left(\frac{T_u \cdot P_h}{1,7 \cdot A_{oh}}\right)^2} \leq \sqrt{\phi \left(\frac{0,16 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d}{b_w \cdot d}\right) + 0,66 \sqrt{f'_c}} \\ &\sqrt{\left(\frac{47262,09}{150.202}\right)^2 + \left(\frac{1400,66 \cdot 520}{1,7 \cdot 14400}\right)^2} \leq \\ &\sqrt{0,75 \cdot \left(\frac{0,16 \cdot \sqrt{30} \cdot 150.202}{150.202}\right) + 0,66 \sqrt{30}} \end{aligned}$$

$0,306 \leq 2,067$  **(penampang balok mencukupi untuk menahan momen puntir)**

#### 4.4.3.2. Perhitungan Penulangan Lentur

##### Daerah Tumpuan Kiri

Diambil momen yang terbesar, akibat kombinasi :  
1,2D+1,6L+0,5W

##### Garis netral dalam kondisi *balance*

$$\begin{aligned} X_b &= (600/(600+f_y)) \times d \\ &= (600/(600+400)) \times 202 \\ &= 121,2 \text{ mm} \end{aligned}$$

##### Garis netral maksimum

$$\begin{aligned} X_{\max} &= 0,75 \times X_b \\ &= 0,75 \times 121,2 \text{ mm} \\ &= 90,9 \text{ mm} \end{aligned}$$

##### Garis netral minimum

$$\begin{aligned} X_{\min} &= d' \\ &= 48 \text{ mm} \end{aligned}$$

##### Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{\text{rencana}} = 100 \text{ mm}$$

##### Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned} C_c' &= 0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_{\text{rencana}} \\ &= 0,85 \times 30 \times 150 \times 0,8375 \times 100 \\ &= 320343,75 \text{ N} \end{aligned}$$

##### Luasan tulangan tarik

$$\begin{aligned} A_{sc} &= C_c' / f_y \\ &= 320343,75 / 400 \\ &= 800,859 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

##### Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned} M_{nc} &= A_{sc} \times f_y \times (d - (\beta_1 \times X_{\text{rencana}}/2)) \\ &= 800,859 \times 400 \times (202 - ((0,8375 \times 100)/2)) \\ &= 51295018,95 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Momen lentur nominal ( $M_n$ )

$$\begin{aligned} M_{u_{tump}} &= 30579171,5 \text{ N.mm} \\ M_n &= 30579171,5 \text{ N.mm}/0,8 \\ &= 38223964,38 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0$ , maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0$ , maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned} M_{ns} &= M_n - M_{nc} \\ &= 38223964,38 - 51295018,95 \\ &= -13071054,57 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Maka,  $M_{ns} \leq 0$  (**tidak perlu tulangan lentur tekan**)

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal.

➤ **Perencanaan tulangan lentur tunggal**

Diketahui :

$$f_y = 400 \text{ Mpa}$$

$$f_c' = 30 \text{ Mpa}$$

$$\beta = 0,8375$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_{\text{balance}} = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta}{f_y} + \frac{600}{600 + f_y}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{balance}} &= \frac{(0,85) \cdot (30) \cdot (0,8375)}{400} + \frac{600}{600 + 400} \\ &= 0,653 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= 0,75 \times \rho_{\text{balance}} \\ &= 0,75 \times 0,653 \\ &= 0,0244 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} \\ &= \frac{400}{0,85 \cdot (30)} \\ &= 15,69 \end{aligned}$$

$$M_u = 30579171,5 \text{ N.mm}$$

$$\begin{aligned}
 \phi &= 0,8 \\
 d &= 202 \text{ mm} \\
 b &= 150 \text{ mm} \\
 M_n &= (M_u)/\phi \\
 &= (30579171,5 \text{ N.mm})/(0,8) \\
 &= 38223964,38 \text{ N.mm} \\
 R_n &= (M_n)/(b.d^2) \\
 &= (38223964,38 \text{ N.mm})/((150)(202^2)) \\
 &= 6,245 \\
 \rho &= \frac{1}{m} \cdot \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2.m.R_n}{f_y}} \right] \\
 &= \frac{1}{15,69} \cdot \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2.(15,69).(6,245)}{400}} \right] \\
 &= 0,0182 \\
 \text{Syarat, } \rho_{\min} < \rho < \rho_{\max} \\
 0,0035 < 0,0182 < 0,0244 \text{ (OK)} \\
 \text{Maka } \rho &= 0,0182
 \end{aligned}$$

Luasan perlu tulangan lentur tarik

$$\begin{aligned}
 A_s &= \rho \times b \times d \\
 &= (0,0182).(150 \text{ mm}).(202 \text{ mm}) \\
 &= 551,460 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan lentur tarik pakai (sisi atas)

$$\begin{aligned}
 n &= A_{s \text{ perlu}} / \text{Luasan D lentur} \\
 &= 551,460 / (0,25 \times \pi \times 16^2) \\
 &= 2,74 \approx 3 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan lentur 3D16

Luasan tulangan lentur Tarik pasang (sisi atas)

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ pasang}} &= n_{\text{pasang}} \times \text{luasan D lentur} \\
 &= 3 \times 0,25 \times \pi \times 16^2 \\
 &= 603,186 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$



Kontrol :

$A_s \text{ pasang} \geq A_s \text{ perlu}$

$603,186 \text{ mm}^2 \geq 551,460 \text{ mm}^2$  (**memenuhi**)

Luasan pasang ( $A_s'$ ) tulangan lentur tekan

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.1 luasan tulangan tidak boleh kurang dari 0,3 tulangan Tarik

$$\begin{aligned} A_s' &= 0,3 \times A_s \\ &= 0,3 \times 603,186 \text{ mm}^2 \\ &= 180,956 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan lentur tekan pakai (sisi bawah)

$$\begin{aligned} n &= A_s \text{ perlu} / \text{Luasan D lentur} \\ &= 180,956 / (0,25 \times \pi \times 16^2) \\ &= 0,900 \approx 2 \text{ buah} \end{aligned}$$

Luasan tulangan lentur tekan pasang (sisi bawah)

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= n_{\text{pasang}} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 16^2 \\ &= 402,124 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol jarak spasi tulangan pakai

Syarat :

$S_{\max} \geq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm}$ , susun 1 lapis

$S_{\max} \leq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm}$ , susun lebih dari 1 lapis

Direncanakan dipakai tulangan tarik satu lapis 3D16 dan tulangan tekan 2D16.

Kontrol tulangan tarik

$$\begin{aligned} S_{\max} &= \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times \phi_{\text{geser}}) - (n \times D)}{n - 1} \\ S_{\max} &= \frac{150 - (2 \times 30) - (2 \times 10) - (3 \times 16)}{3 - 1} \\ &= 11 \text{ mm} \end{aligned}$$

$S_{\max} \geq S_{\text{syarat agregat}}$

$1 \text{ mm} < 25 \text{ mm}$  (**Tidak memenuhi**)

Kontrol tulangan tekan

$$S_{\text{tekan}} = \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times \phi_{\text{geser}}) - (n \times D)}{n - 1}$$

$$S_{\text{tekan}} = \frac{150 - (2 \times 30) - (2 \times 10) - (2 \times 16)}{2 - 1}$$

$$= 38 \text{ mm}$$

$$S_{\text{max}} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

$$38 \text{ mm} < 25 \text{ mm} \text{ (**memenuhi**)}$$

Karena syarat jarak sejajar antar tulangan pada tulangan lentur tarik belum terpenuhi ( $S_{\text{max}} \leq 25 \text{ mm}$ ), maka dipasang tulangan lentur tarik 2 lapis.

- Kontrol tulangan tarik lapis 1

$$S_{\text{max}} = \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times \phi_{\text{geser}}) - (n \times D)}{n - 1}$$

$$S_{\text{max}} = \frac{200 - (2 \times 30) - (2 \times 10) - (2 \times 16)}{2 - 1}$$

$$= 38 \text{ mm}$$

$$S_{\text{max}} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

$$38 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \text{ (**memenuhi**)}$$

Maka dipakai tulangan lentur balok induk B4 (15/25) untuk daerah tumpuan kiri :

- Tulangan lentur tarik susun 1 lapis  
Lapis 1            = 2D16  
Lapis 2            = 1D16
- Tulangan lentur tekan susun 1 lapis  
Lapis 1            = 2D16

### **Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok**

Kuat momen lentur positif balok pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di

sepajang bentang tidak boleh kurang dari sperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka-muka kolom di kedua ujung komponen tersebut.  $M$  lentur tumpuan (+)  $\geq 1/3 \times M$  lentur tumpuan (-).

**[SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.(1)]**

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= n_{\text{pasang}} \times \text{luasan } D \text{ lentur} \\ &= 3 \times 0,25 \times \pi \times 16^2 \\ &= 603,186 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s' \text{ pasang} &= n_{\text{pasang}} \times \text{luasan } D \text{ lentur} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 16^2 \\ &= 402,124 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$M$  lentur tumpuan (+)  $\geq (1/3) M$  lentur tumpuan (-)

$$15622574,53 \geq (1/3) 30579171,5$$

$$15622574,53 \geq 10193057,17 \text{ (**memenuhi**)}$$

Jadi pada daerah tumpuan kiri, dipasang tulangan :

Tulangan tarik = 3D16

Tulangan tekan = 2D16

### Kontrol kemampuan penampang

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \\ &= \frac{(603,186) \cdot (400)}{0,85 \times (30) \times (150)} \\ &= 63,078 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n \text{ pasang} &= A_s \cdot f_y \cdot (d - (a/2)) \\ &= (603,186) \cdot (400) \cdot (202 - (63,078/2)) \\ &= 41127875,5 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi \cdot M_n \text{ pasang} &= 0,8 \times 41127875,5 \\ &= 32902300,4 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

$$M_u \text{ perlu} = 30579171,5 \text{ N.mm}$$

$$\begin{aligned} \phi \cdot M_n \text{ pasang} &\geq M_u \text{ perlu} \\ 32902300,4 \text{ N.mm} &\geq 30579171,5 \text{ N.mm} \text{ (**memenuhi**)} \end{aligned}$$

Jadi penulangan lentur untuk balok anak B4 (15/25) pada daerah tumpuan kiri dipakai tulangan tarik 3D16 dan tulangan tekan 2D16 dengan susunan sebagai berikut :

- **Tulangan lentur tarik susun 1 lapis**  
 Lapis 1            = 2D16  
 Lapis 2            = 1D16
- **Tulangan lentur tekan susun 1 lapis**  
 Lapis 1            = 2D16

### **Daerah Tumpuan Kanan**

Diambil momen yang terbesar, akibat kombinasi :  
 1,2D+1,6L+0,5W

#### **Garis netral dalam kondisi *balance***

$$\begin{aligned} X_b &= (600/(600+f_y)) \times d \\ &= (600/(600+400)) \times 202 \\ &= 121,2 \text{ mm} \end{aligned}$$

#### **Garis netral maksimum**

$$\begin{aligned} X_{\max} &= 0,75 \times X_b \\ &= 0,75 \times 121,2 \text{ mm} \\ &= 90,9 \text{ mm} \end{aligned}$$

#### **Garis netral minimum**

$$\begin{aligned} X_{\min} &= d' \\ &= 48 \text{ mm} \end{aligned}$$

#### **Garis netral rencana (asumsi)**

$$X_{\text{rencana}} = 100 \text{ mm}$$

#### **Komponen beton tertekan**

$$\begin{aligned} C_c' &= 0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_{\text{rencana}} \\ &= 0,85 \times 30 \times 150 \times 0,8375 \times 100 \\ &= 320343,75 \text{ N} \end{aligned}$$

#### **Luasan tulangan tarik**

$$A_{sc} = C_c' / f_y$$

$$= 320343,75/400$$

$$= 800,859 \text{ mm}^2$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$M_{nc} = A_{sc} \times f_y \times (d - (\beta_1 \times X_{rencana}/2))$$

$$= 800,859 \times 400 \times (202 - ((0,8375 \times 100)/2))$$

$$= 51295018,95 \text{ N.mm}$$

Momen lentur nominal (Mn)

$$M_{u_{tump}} = 15622574,53 \text{ N.mm}$$

$$M_n = 15622574,53 \text{ N.mm}/0,8$$

$$= 19528218,16 \text{ N.mm}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0$ , maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0$ , maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$M_{ns} = M_n - M_{nc}$$

$$= 19528218,16 - 51295018,9$$

$$= -31766800,74 \text{ N.mm}$$

Maka,  $M_{ns} \leq 0$  (**tidak perlu tulangan lentur tekan**)

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal.

➤ **Perencanaan tulangan lentur tunggal**

Diketahui :

$$f_y = 400 \text{ Mpa}$$

$$f_c' = 30 \text{ Mpa}$$

$$\beta = 0,8375$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_{balance} = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta}{f_y} + \frac{600}{600 + f_y}$$

$$\rho_{balance} = \frac{(0,85) \cdot (30) \cdot (0,8375)}{400} + \frac{600}{600 + 400}$$

$$= 0,653$$

$$\rho_{max} = 0,75 \times \rho_{balance}$$

$$\begin{aligned}
&= 0,75 \times 0,653 \\
&= 0,0244 \\
m &= \frac{f_y}{0,85 \cdot f'_c} \\
&= \frac{400}{0,85 \cdot (30)} \\
&= 15,69 \\
M_u &= 15622574,53 \text{ N.mm} \\
\phi &= 0,8 \\
d &= 202 \text{ mm} \\
b &= 150 \text{ mm} \\
M_n &= (M_u)/\phi \\
&= (15622574,53 \text{ N.mm})/(0,8) \\
&= 19528218,16 \text{ N.mm} \\
R_n &= (M_n)/(b \cdot d^2) \\
&= (19528218,16 \text{ N.mm})/((150)(202^2)) \\
&= 3,191 \\
\rho &= \frac{1}{m} \cdot \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right] \\
&= \frac{1}{15,69} \cdot \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot (15,69) \cdot (3,191)}{400}} \right] \\
&= 0,00855
\end{aligned}$$

Syarat,  $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$   
 $0,0035 < 0,00855 < 0,0244$  (**OK**)

Maka  $\rho = 0,00855$

Luasan perlu tulangan lentur tarik

$$\begin{aligned}
A_s &= \rho \times b \times d \\
&= (0,00855) \cdot (150 \text{ mm}) \cdot (202 \text{ mm}) \\
&= 259,065 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

Jumlah tulangan lentur tarik pakai (sisi atas)

$$\begin{aligned}
n &= A_{s \text{ perlu}} / \text{Luasan D lentur} \\
&= 259,065 / (0,25 \times \pi \times 16^2) \\
&= 1,28 \approx 2 \text{ buah}
\end{aligned}$$

Dipasang tulangan lentur 2D16

Luasan tulangan lentur Tarik pasang (sisi atas)

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ pasang} &= n_{\text{pasang}} \times \text{luasan D lentur} \\
 &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 16^2 \\
 &= 402,124 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ pasang} &\geq A_s \text{ perlu} \\
 402,124 \text{ mm}^2 &\geq 259,065 \text{ mm}^2 \text{ (**memenuhi**)}
 \end{aligned}$$

Luasan pasang ( $A_s'$ ) tulangan lentur tekan

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.1 luasan tulangan tidak boleh kurang dari 0,3 tulangan Tarik

$$\begin{aligned}
 A_s' &= 0,3 \times A_s \\
 &= 0,3 \times 402,124 \text{ mm}^2 \\
 &= 120,637 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan lentur tekan pakai (sisi bawah)

$$\begin{aligned}
 n &= A_s \text{ perlu} / \text{Luasan D lentur} \\
 &= 120,037 / (0,25 \times \pi \times 16^2) \\
 &= 0,59 \approx 2 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Luasan tulangan lentur tekan pasang (sisi bawah)

$$\begin{aligned}
 A_s \text{ pasang} &= n_{\text{pasang}} \times \text{luasan D lentur} \\
 &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 16^2 \\
 &= 402,124 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol jarak spasi tulangan pakai

Syarat :

$$S_{\max} \geq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm, susun 1 lapis}$$

$$S_{\max} \leq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm, susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan dipakai tulangan tarik satu lapis 2D16 dan tulangan tekan 2D16.

Kontrol tulangan tarik

$$\begin{aligned}
 S_{\max} &= \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times \phi_{\text{geser}}) - (n \times D)}{n - 1} \\
 S_{\max} &= \frac{150 - (2 \times 30) - (2 \times 10) - (2 \times 16)}{2 - 1}
 \end{aligned}$$

$$= 38 \text{ mm}$$

$$S_{\max} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

$$38 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \text{ (**memenuhi**)}$$

Kontrol tulangan tekan

$$S_{\text{tekan}} = \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times \phi_{\text{geser}}) - (n \times D)}{n - 1}$$

$$S_{\text{tekan}} = \frac{150 - (2 \times 30) - (2 \times 10) - (2 \times 16)}{2 - 1}$$

$$= 38 \text{ mm}$$

$$S_{\max} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

$$38 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \text{ (**memenuhi**)}$$

Maka dipakai tulangan lentur balok anak B4 (15/25) untuk daerah tumpuan kanan :

- Tulangan lentur tarik susun 1 lapis  
Lapis 1 = 2D16
- Tulangan lentur tekan susun 1 lapis  
Lapis 1 = 2D16

### **Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok**

Kuat momen lentur positif balok pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari sperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka-muka kolom di kedua ujung komponen tersebut.  $M_{\text{lentur tumpuan (+)} \geq 1/3 \times M_{\text{lentur tumpuan (-)}}$ .

**[SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.(1)]**

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$A_s_{\text{pasang}} = n_{\text{pasang}} \times \text{luasan } D \text{ lentur}$$

$$= 2 \times 0,25 \times \pi \times 16^2$$



$$= 402,124 \text{ mm}^2$$

$$\begin{aligned} A_s'_{\text{pasang}} &= n_{\text{pasang}} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 16^2 \\ &= 402,124 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

M lentur tumpuan (+)  $\geq$  (1/3) M lentur tumpuan (-)

$$15622574,53 \geq (1/3) 30579171,5$$

$$15622574,53 \geq 10193057,17 \text{ (**memenuhi**)}$$

Jadi pada daerah tumpuan kanan, dipasang tulangan :

Tulangan tarik = 2D16

Tulangan tekan = 2D16

### Kontrol kemampuan penampang

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \\ &= \frac{(402,124) \cdot (400)}{0,85 \times (30) \times (150)} \\ &= 42,05 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n \text{ pasang} &= A_s \cdot f_y \cdot (d - (a/2)) \\ &= (402,124) \cdot (400) \cdot (202 - (42,05/2)) \\ &= 29109756,36 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi \cdot M_n \text{ pasang} &= 0,8 \times 29109756,36 \\ &= 23287805,09 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

$$M_u \text{ perlu} = 15622574,53 \text{ N.mm}$$

$$\phi \cdot M_n \text{ pasang} \geq M_u \text{ perlu}$$

$$23287805,09 \text{ N.mm} \geq 15622574,53 \text{ N.mm} \text{ (**memenuhi**)}$$

Jadi penulangan lentur untuk balok anak B4 (15/25) pada daerah tumpuan kanan dipakai tulangan tarik 2D16 dan tulangan tekan 2D16 dengan susunan sebagai berikut :

- **Tulangan lentur tarik susun 1 lapis**

Lapis 1 = 2D16

- **Tulangan lentur tekan susun 1 lapis**

Lapis 1 = 2D16

**Daerah Lapangan**

Diambil momen yang terbesar, akibat kombinasi :  
 $1,2D+1,6L+0,5W$

**Garis netral dalam kondisi *balance***

$$\begin{aligned} X_b &= (600/(600+f_y)) \times d \\ &= (600/(600+400)) \times 202 \\ &= 121,2 \text{ mm} \end{aligned}$$

**Garis netral maksimum**

$$\begin{aligned} X_{\max} &= 0,75 \times X_b \\ &= 0,75 \times 121,2 \text{ mm} \\ &= 90,9 \text{ mm} \end{aligned}$$

**Garis netral minimum**

$$\begin{aligned} X_{\min} &= d' \\ &= 48 \text{ mm} \end{aligned}$$

**Garis netral rencana (asumsi)**

$$X_{\text{rencana}} = 100 \text{ mm}$$

**Komponen beton tertekan**

$$\begin{aligned} C_c' &= 0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_{\text{rencana}} \\ &= 0,85 \times 30 \times 150 \times 0,8375 \times 100 \\ &= 320343,75 \text{ N} \end{aligned}$$

**Luasan tulangan tarik**

$$\begin{aligned} A_{sc} &= C_c' / f_y \\ &= 320343,75 / 400 \\ &= 800,859 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

**Momen nominal tulangan lentur tunggal**

$$\begin{aligned} M_{nc} &= A_{sc} \times f_y \times (d - (\beta_1 \times X_{\text{rencana}}/2)) \\ &= 800,859 \times 400 \times (202 - ((0,8375 \times 100)/2)) \\ &= 51295018,95 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

**Momen lentur nominal (Mn)**

$$Mu_{lap} = 7213213,35 \text{ N.mm}$$

$$\begin{aligned} M_n &= 7213213,35 \text{ N.mm}/0,8 \\ &= 9016516,688 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0$ , maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0$ , maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned} M_{ns} &= M_n - M_{nc} \\ &= 9016516,688 - 51295018,95 \\ &= -42278502,26 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Maka,  $M_{ns} \leq 0$  (**tidak perlu tulangan lentur tekan**)

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal.

➤ **Perencanaan tulangan lentur tunggal**

Diketahui :

$$f_y = 400 \text{ Mpa}$$

$$f_c' = 30 \text{ Mpa}$$

$$\beta = 0,8375$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_{\text{balance}} = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta}{f_y} + \frac{600}{600 + f_y}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{balance}} &= \frac{(0,85) \cdot (30) \cdot (0,8375)}{400} + \frac{600}{600 + 400} \\ &= 0,653 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= 0,75 \times \rho_{\text{balance}} \\ &= 0,75 \times 0,653 \\ &= 0,0244 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} \\ &= \frac{400}{0,85 \cdot (30)} \\ &= 15,69 \end{aligned}$$

$$M_u = 7213213,35 \text{ N.mm}$$

$$\phi = 0,8$$

$$d = 202 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 b &= 150 \text{ mm} \\
 M_n &= (M_u)/\phi \\
 &= (7213213,35 \text{ N.mm})/(0,8) \\
 &= 9016516,688 \text{ N.mm} \\
 R_n &= (M_n)/(b \cdot d^2) \\
 &= (9016516,688 \text{ N.mm})/((150)(202^2)) \\
 &= 1,473 \\
 \rho &= \frac{1}{m} \cdot \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right] \\
 &= \frac{1}{15,69} \cdot \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot (15,69) \cdot (1,473)}{400}} \right] \\
 &= 0,00379
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Syarat, } \rho_{\min} < \rho < \rho_{\max} \\
 0,0035 < 0,00379 < 0,0244 \text{ (OK)}
 \end{aligned}$$

Maka  $\rho = 0,00379$

Luasan perlu tulangan lentur tarik

$$\begin{aligned}
 A_s &= \rho \times b \times d \\
 &= (0,00379) \cdot (150 \text{ mm}) \cdot (202 \text{ mm}) \\
 &= 114,837 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan lentur tarik pakai (sisi atas)

$$\begin{aligned}
 n &= A_{s \text{ perlu}} / \text{Luasan D lentur} \\
 &= 114,837 / (0,25 \times \pi \times 16^2) \\
 &= 0,57 \approx 2 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan lentur 2D16

Luasan tulangan lentur Tarik pasang (sisi atas)

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ pasang}} &= n_{\text{pasang}} \times \text{luasan D lentur} \\
 &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 16^2 \\
 &= 402,124 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ pasang}} &\geq A_{s \text{ perlu}} \\
 402,124 \text{ mm}^2 &\geq 114,837 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Luasan pasang ( $A_s'$ ) tulangan lentur tekan

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.1 luasan tulangan tidak boleh kurang dari 0,3 tulangan Tarik

$$\begin{aligned} A_s' &= 0,3 \times A_s \\ &= 0,3 \times 402,124 \text{ mm}^2 \\ &= 120,637 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan lentur tekan pakai (sisi bawah)

$$\begin{aligned} n &= A_{s \text{ perlu}} / \text{Luasan D lentur} \\ &= 120,637 / (0,25 \times \pi \times 16^2) \\ &= 0,599 \approx 2 \text{ buah} \end{aligned}$$

Luasan tulangan lentur tekan pasang (sisi bawah)

$$\begin{aligned} A_{s \text{ pasang}} &= n_{\text{pasang}} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 16^2 \\ &= 420,124 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol jarak spasi tulangan pakai

Syarat :

$$S_{\max} \geq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm, susun 1 lapis}$$

$$S_{\max} \leq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm, susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan dipakai tulangan tarik satu lapis 2D16 dan tulangan tekan 2D16.

Kontrol tulangan tarik

$$\begin{aligned} S_{\max} &= \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times \phi_{\text{geser}}) - (n \times D)}{n - 1} \\ S_{\max} &= \frac{150 - (2 \times 30) - (2 \times 10) - (2 \times 16)}{2 - 1} \\ &= 38 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S_{\max} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

$$38 \text{ mm} > 25 \text{ mm (memenuhi)}$$

Kontrol tulangan tekan

$$S_{\text{tekan}} = \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times \phi_{\text{geser}}) - (n \times D)}{n - 1}$$

$$S_{\text{tekan}} = \frac{150 - (2 \times 30) - (2 \times 10) - (2 \times 16)}{2 - 1}$$

$$= 38 \text{ mm}$$

$$S_{\text{max}} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

$$38 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \text{ (**memenuhi**)}$$

Maka dipakai tulangan lentur balok anak B4 (15/20) untuk daerah lapangan :

- Tulangan lentur tarik susun 1 lapis  
Lapis 1 = 2D16
- Tulangan lentur tekan susun 1 lapis  
Lapis 1 = 2D16

### **Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok**

Kuat momen lentur positif balok pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari sperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka-muka kolom di kedua ujung komponen tersebut.  $M_{\text{lentur tumpuan (+)}} \geq 1/3 \times M_{\text{lentur tumpuan (-)}}$ .

#### **[SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.(1)]**

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$A_{S \text{ pasang}} = n_{\text{pasang}} \times \text{luasan } D \text{ lentur}$$

$$= 2 \times 0,25 \times \pi \times 16^2$$

$$= 420,124 \text{ mm}^2$$

$$A_{S' \text{ pasang}} = n_{\text{pasang}} \times \text{luasan } D \text{ lentur}$$

$$= 2 \times 0,25 \times \pi \times 16^2$$

$$= 420,124 \text{ mm}^2$$

$$M_{\text{lentur tumpuan (+)}} \geq (1/3) M_{\text{lentur tumpuan (-)}}$$

$$15622574,53 \geq (1/3) 30579171,5$$

$$15622574,53 \geq 10193057,17 \text{ (**memenuhi**)}$$

Jadi pada daerah lapangan, dipasang tulangan :

Tulangan tarik = 2D16

Tulangan tekan = 2D16

### Kontrol kemampuan penampang

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \times f'_c \times b}$$

$$= \frac{(402,124) \cdot (400)}{0,85 \times (30) \times (150)}$$

$$= 42,05 \text{ mm}$$

$$M_n \text{ pasang} = A_s \cdot f_y \cdot (d - (a/2))$$

$$= (402,124) \cdot (400) \cdot (202 - (42,05/2))$$

$$= 29109756,36 \text{ N.mm}$$

$$\phi \cdot M_n \text{ pasang} = 0,8 \times 29109756,36$$

$$= 23287805,09 \text{ N.mm}$$

$$M_u \text{ perlu} = 7213213,35 \text{ N.mm}$$

$$\phi \cdot M_n \text{ pasang} \geq M_u \text{ perlu}$$

$$23287805,09 \text{ N.mm} \geq 7213213,35 \text{ N.mm} \text{ (**memenuhi**)}$$

Jadi penulangan lentur untuk balok anak B4 (15/25) pada daerah lapangan dipakai tulangan tarik 2D16 dan tulangan tekan 2D16 dengan susunan sebagai berikut :

- **Tulangan lentur tarik susun 1 lapis**  
Lapis 1 = 2D16
- **Tulangan lentur tekan susun 1 lapis**  
Lapis 1 = 2D16

#### 4.4.3.3. Perhitungan Penulangan Geser

Tipe balok : B4 (15/25)

Dimensi balok (b) : 150 mm

Dimensi balok (h) : 250 mm

Kuat tekan beton ( $f'_c$ ) : 30 Mpa

Kuat leleh tulangan geser ( $f_{yv}$ ) : 320 Mpa

Diameter tulangan geser ( $\emptyset$ ) : 10 mm

$\beta_1$  : 0,8375

Faktor reduksi kekuatan geser : 0,75

Berdasarkan perhitungan tulangan lentur pada balok anak B4 (15/25) elevasi +11,64, didapat :

### *Momen Nominal Kiri*

Momen nominal kiri diperoleh dari hasil perhitungan tulangan lentur tumpuan kiri dengan luasan tulangan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \\
 &= \frac{(603,186) \cdot (400)}{0,85 \times (30) \times (150)} \\
 &= 63,078 \text{ mm} \\
 M_n \text{ pasang} &= A_s \cdot f_y \cdot (d - (a/2)) \\
 &= (603,186) \cdot (400) \cdot (202 - (63,078/2)) \\
 &= 41127875,5 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

### *Momen Nominal Kanan*

Momen nominal kanan diperoleh dari hasil perhitungan tulangan lentur tumpuan kanan dengan luasan tulangan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \\
 &= \frac{(402,124) \cdot (400)}{0,85 \times (30) \times (150)} \\
 &= 42,05 \text{ mm} \\
 M_n \text{ pasang} &= A_s \cdot f_y \cdot (d - (a/2)) \\
 &= (402,124) \cdot (400) \cdot (202 - (42,05/2)) \\
 &= 29109756,36 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil *output* dan diagram gaya dalam akibat kombinasi 1,2D+1,6L+0,5W dari analisa SAP 2000 didapatkan :

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.2,  $V_u$  diambil tepat dari muka kolom :

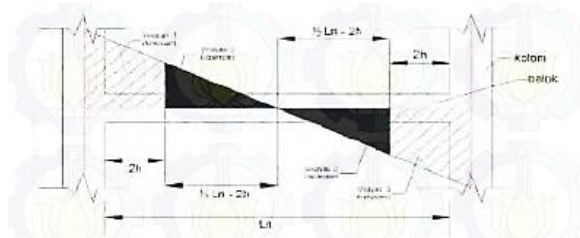
Gaya geser terfaktor  $V_u = 47262,09 \text{ N}$

### Pembagian Wilayah Geser Balok

Dalam perhitungan tulangan geser (sengkang) pada balok, wilayah balok dibagi menjadi 3 wilayah yaitu :



- Wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan), sejarak dua kali tinggi balok dari muka kolom ke arah tengah bentang (SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4.2)
- Wilayah 2 (daerah lapangan), dimulai dari wilayah 1 atau 3 ke  $\frac{1}{2}$  bentang balok.



**Gambar 4.76.** Pembagian Wilayah Geser pada Balok

$$\sqrt{f_c'} < (25/3)$$

$$\sqrt{30} < 8,33$$

$$5,477 < 8,33 \text{ (memenuhi)}$$

Kuat geser beton (SNI 03-2847-2013 Pasal 11.2.1.1)

$$\begin{aligned} V_C &= 0,17 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d \\ &= 0,17 \times \sqrt{30} \times 150 \times 202 \\ &= 28213,189 \text{ N} \end{aligned}$$

Kuat geser tulangan geser

$$\begin{aligned} V_{S \text{ min}} &= 0,33 \times b \times d \\ &= 0,33 \times 150 \times 202 \\ &= 9999 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{S \text{ max}} &= 0,33 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d \\ &= 0,33 \times \sqrt{30} \times 150 \times 202 \\ &= 54766,779 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2. V_{S \text{ max}} &= 0,66 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d \\ &= 0,66 \times \sqrt{30} \times 150 \times 202 \\ &= 110346,925 \text{ N} \end{aligned}$$

Penulangan geser balok

1. Pada wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan)

Gaya geser diperoleh dari :

$$V_{u1} = \frac{M_{nl} + M_{nr}}{L_n} + \frac{W_u \times L_n}{2}$$

$$V_{u1} = \frac{M_{nl} + M_{nr}}{L_n} + V_u$$

**(SNI 03-2847-2013 pasal 21.3)**

Dimana :

$V_{U1}$  = Gaya geser pada muka perletakan

$M_{nl}$  = Momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kiri)

$M_{nr}$  = Momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kanan)

$L_n$  = Panjang balok

Maka :

$$V_{u1} = \frac{41127875,5 + 29109756,36}{1000} + 47262,09$$

$$= 117499,722 \text{ N}$$

Kondisi 1

$V_U \leq 0,5 \phi V_C$ , tidak perlu tulangan geser

$$V_U = 117499,722 \text{ N}$$

$$0,5 \cdot \phi \cdot V_C = 0,5 \cdot (0,75) \cdot (28213,189)$$

$$= 10579,946 \text{ N}$$

$117499,722 \text{ N} > 10579,946 \text{ N}$  (**Tidak memenuhi**)

Kondisi 2

$0,5 \phi V_C \leq V_U \leq \phi \cdot V_C$ , tulangan geser

$$0,5 \cdot \phi \cdot V_C = 0,5 \cdot (0,75) \cdot (28213,189)$$

$$= 10579,946 \text{ N}$$

$$\phi \cdot V_C = (0,75) \cdot (28213,189)$$

$$= 21159,892 \text{ N}$$

$$V_U = 117499,722 \text{ N}$$

$$10579,946 \text{ N} \leq 117499,722 \text{ N} > 21159,892 \text{ N}$$

**(Tidak memenuhi)**

Kondisi 3

$\phi \cdot V_C \leq V_U \leq \phi \cdot (V_C + V_{S \min})$ , tulangan geser

$$\phi \cdot V_C = (0,75) \cdot (28213,189)$$

$$= 21159,892 \text{ N}$$

$$\begin{aligned}\phi \cdot (V_C + V_{S \min}) &= 0,75 \cdot (28213,189 + 9999) \\ &= 28659,142 \text{ N} \\ V_U &= 117499,722 \text{ N} \\ 21159,892 \text{ N} &\leq 117499,722 \text{ N} > 28659,142 \text{ N} \\ \textbf{(Tidak memenuhi)}\end{aligned}$$

Kondisi 4

$\phi \cdot (V_C + V_{S \min}) \leq V_U \leq \phi \cdot (V_C + V_{S \max})$ , tulangan geser

$$\begin{aligned}\phi \cdot (V_C + V_{S \min}) &= 0,75 \cdot (28213,189 + 9999) \\ &= 28659,142 \text{ N} \\ \phi \cdot (V_C + V_{S \max}) &= 0,75 \cdot (28213,189 + 54766,779) \\ &= 62234,976 \text{ N} \\ V_U &= 117499,722 \text{ N} \\ 28659,142 \text{ N} &\leq 117499,722 \text{ N} > 62234,976 \text{ N} \\ \textbf{(Tidak memenuhi)}\end{aligned}$$

Kondisi 5

$\phi \cdot (V_C + V_{S \max}) \leq V_U \leq \phi \cdot (V_C + 2 \cdot V_{S \max})$ , tulangan geser

$$\begin{aligned}\phi \cdot (V_C + V_{S \max}) &= 0,75 \cdot (28213,189 + 54766,779) \\ &= 62234,976 \text{ N} \\ \phi \cdot (V_C + 2V_{S \max}) &= 0,75 \cdot (28213,189 + 110346,925) \\ &= 118279,122 \text{ N} \\ V_U &= 117499,722 \text{ N} \\ 62234,976 \text{ N} &< 117499,722 \text{ N} \leq 118279,122 \text{ N} \\ \textbf{(memenuhi)}\end{aligned}$$

Maka direncanakan penulangan geser balok diambil berdasarkan **kondisi 5**.

$$\begin{aligned}V_{S \text{ perlu}} &= \frac{V_U - \phi \cdot V_C}{\phi} \\ &= \frac{117499,722 - (0,75) \cdot (28213,189)}{0,75} \\ &= 128453,107 \text{ N}\end{aligned}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser Ø12 mm dengan 2 kaki, maka luasan tulangan geser :

$$\begin{aligned}A_v &= (0,25 \times \pi \times \emptyset^2) \times n_{\text{kaki}} \\ &= 0,25 \times \pi \times 12^2 \times 2\end{aligned}$$

$$= 226,194 \text{ mm}^2$$

Jarak tulangan geser perlu ( $S_{\text{perlu}}$ )

$$\begin{aligned} S_{\text{perlu}} &= \frac{A_v \times f_{yv} \times d}{V_{s \text{ perlu}}} \\ &= \frac{(226,194) \times (320) \times (202)}{128453,107} \\ &= 113,825 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka dipasang jarak 100 mm antar tulangan geser.

Kontrol jarak spasi tulangan geser berdasarkan kondisi 5

$$S_{\text{max}} < (d/2) \text{ atau } S_{\text{max}} < 600 \text{ mm}$$

- 100 mm < (202/2)
- 100 mm < 101 mm (**memenuhi**)
- 100 mm < 600 (**memenuhi**)

### **Cek persyaratan SRPMM untuk kekuatan geser balok**

Pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus dipasang sengkang sepanjang jarak dua kali komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama dipasang pada jarak tidak lebih dari 50 mm dari muka perletakan.

Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi :

- a.  $d/4$
- b. delapan kali diameter tulangan longitudinal
- c. 24 kali diameter sengkang
- d. 300 mm

**(SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.(2))**

$$S_{\text{pakai}} < (d/4)$$

$$100 \text{ mm} < (202/4) \text{ mm}$$

$$100 \text{ mm} > 50,5 \text{ mm} \text{ (**Tidak memenuhi**)}$$

$$S_{\text{pakai}} < 8.D_{\text{lentur}}$$

$$100 \text{ mm} < 8.(16) \text{ mm}$$

100 mm < 128 mm (**memenuhi**)

$S_{pakai} < 24. \phi_{sengkang}$

100 mm < 24.(12) mm

100 mm < 288 mm (**memenuhi**)

$S_{pakai} < 300$  mm

100 mm < 300 mm (**memenuhi**)

**Jadi, penulangan geser balok untuk balok B4 (15/25) pada wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan) dipasang Ø12-100 dengan sengkang 2 kaki.**

2. Pada wilayah 2 (daerah lapangan)

Gaya geser pada wilayah 2 diperoleh dengan menggunakan metode perbandingan segitiga, dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \frac{V_{u2}}{\frac{1}{2} \cdot L_n - 2 \cdot h} &= \frac{V_{u1}}{\frac{1}{2} \cdot L_n} \\ V_{u2} &= \frac{V_{u1} \times (\frac{1}{2} \cdot L_n - 2 \cdot h)}{\frac{1}{2} \cdot L_n} \\ &= \frac{(117499,722) \times (\frac{1}{2} \cdot (1000) - 2 \cdot (250))}{\frac{1}{2} \cdot (1000)} \\ &= 0 \text{ N} \end{aligned}$$

Kondisi 1

$V_u \leq 0,5 \phi V_c$ , tidak perlu tulangan geser

$V_u = 0 \text{ N}$

$0,5 \cdot \phi \cdot V_c = 0,5 \cdot (0,75) \cdot (28213,189)$

$= 10579,946 \text{ N}$

$0 \text{ N} < 10579,946 \text{ N}$  (**Memenuhi**)

Maka perencanaan kondisi penulangan geser balok diambil berdasarkan **kondisi 1**.

Maka dipasang jarak minimum 130 mm antar tulangan geser.

**Cek persyaratan SRPMM untuk kekuatan geser balok**

Pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus dipasang sengkang sepanjang jarak dua kali komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama dipasang pada jarak tidak lebih dari 50 mm dari muka perletakan.

Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi :

- a.  $d/4$
- b. delapan kali diameter tulangan longitudinal
- c. 24 kali diameter sengkang
- d. 300 mm

**(SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.(2))**

$$S_{\text{pakai}} < (d/4)$$

$$130 \text{ mm} < (202/4) \text{ mm}$$

$$130 \text{ mm} > 50,5 \text{ mm} \text{ (Tidak memenuhi)}$$

$$S_{\text{pakai}} < 8.D_{\text{lentur}}$$

$$130 \text{ mm} < 8.(16) \text{ mm}$$

$$130 \text{ mm} > 128 \text{ mm} \text{ (Tidak memenuhi)}$$

$$S_{\text{pakai}} < 24.\phi_{\text{sengkang}}$$

$$130 \text{ mm} < 24.(12) \text{ mm}$$

$$130 \text{ mm} < 288 \text{ mm} \text{ (memenuhi)}$$

$$S_{\text{pakai}} < 300 \text{ mm}$$

$$130 \text{ mm} < 300 \text{ mm} \text{ (memenuhi)}$$

**Jadi, penulangan geser balok untuk balok B4 (15/25) pada wilayah 2 (daerah lapangan) dipasang Ø12-130 dengan sengkang 2 kaki.**

#### 4.4.3.4. Perhitungan Panjang Penyaluran

Gaya tarik dan tekan pada tulangan di setiap penampang komponen struktur beton bertulangan harus disalurkan pada masing-masing penampang melalui penyaluran tulangan. Adapun perhitungan penyaluran tulangan berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 12.

- Penyaluran tulangan dalam kondisi tarik

Penyaluran tulangan dalam kondisi tarik dihitung berdasarkan **SNI 03-2847-2013 pasal 12.2**

Panjang penyaluran untuk batang ulir dan kawat dalam kondisi tarik tidak boleh kurang dari 300 mm.

(**SNI 03-2847-2013 pasal 12.2.1**)

Untuk panjang penyaluran batang ulir dan kawat ulir dapat dihitung berdasarkan **SNI 03-2847-2013 tabel pada pasal 12.2** sebagai berikut.

	Batang tulangan atau kawat ulir D-19 dan yang lebih kecil	Batang tulangan D-22 dan yang lebih besar
Spasi bersih batang tulangan atau kawat yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari $d_b$ , selimut bersih tidak kurang dari $d_b$ , dan sengkang atau pengikat sepanjang $\ell_d$ tidak kurang dari minimum Tata Cara atau Spasi bersih batang tulangan atau kawat yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari $2d_b$ dan selimut bersih tidak kurang dari $d_b$	$\left( \frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{2,1\lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b$	$\left( \frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{1,7\lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b$
Kasus-kasus lain	$\left( \frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{1,4\lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b$	$\left( \frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{1,1\lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b$

**Gambar 4.76.** Panjang Penyaluran Batang Ulir dan Kawat Ulir

Dimana,

$\lambda_d$  = panjang penyaluran tulangan kondisi Tarik

$d_b$  = diameter tulangan lentur yang dipakai

$\Psi_t$  = faktor lokasi penulangan

$\Psi_e$  = faktor pelapis

dimana nilai dari masing-masing faktor :

$\lambda$  = 1,0 (untuk beton berat normal)

$\Psi_t$  = 1,3 (beton segar dicor di bawah panjang penyaluran atau sambungan)

$\Psi_e$  = 1,0 (untuk tulangan tidak dilapisi dan dilapisi bahan seng/ digalvanis)

$d_b$  = 16 mm

**Perhitungan**

$$\begin{aligned} \lambda_d &= \frac{f_y \cdot \Psi_t \cdot \Psi_e}{2,1 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c}} \cdot d_b \\ &= \frac{(400) \cdot (1,3) \cdot (1,0)}{2,1 \cdot (1,0) \cdot \sqrt{300}} \cdot (16) \end{aligned} \quad (16)$$

$$= 723,341 \text{ mm}$$

Syarat :

$$\lambda_d > 300 \text{ mm}$$

$$723,341 \text{ mm} > 300 \text{ mm} \text{ (**memenuhi**)}$$

1. Reduksi panjang penyaluran tulangan balok tumpuan kiri (tulangan lebih) :

$$\begin{aligned}\lambda_{\text{reduksi}} &= \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ pasang}} \cdot \lambda_d \\ &= \frac{551,460}{603,186} \cdot (723,341) \\ &= 661,311 \text{ mm} \\ &\approx 670 \text{ mm}\end{aligned}$$

Maka panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tarik di daerah tumpuan kiri 670 mm.

2. Reduksi panjang penyaluran tulangan balok tumpuan kanan (tulangan lebih) :

$$\begin{aligned}\lambda_{\text{reduksi}} &= \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ pasang}} \cdot \lambda_d \\ &= \frac{259,065}{402,124} \cdot (723,341) \\ &= 466,006 \text{ mm} \\ &\approx 470 \text{ mm}\end{aligned}$$

Maka panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tarik di daerah tumpuan kanan 470 mm.

3. Reduksi panjang penyaluran tulangan balok lapangan (tulangan lebih) :

$$\begin{aligned}\lambda_{\text{reduksi}} &= \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ pasang}} \cdot \lambda_d \\ &= \frac{114,837}{402,124} \cdot (723,341) \\ &= 206,568 \text{ mm} \\ &\approx 210 \text{ mm}\end{aligned}$$

Maka panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tarik di daerah lapangan 210 mm.

- Penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik

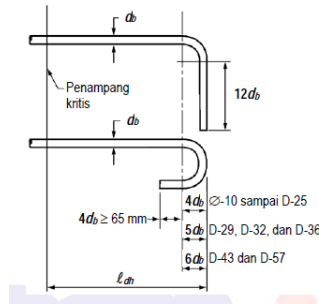


Penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik dihitung berdasarkan **SNI 03-2847-2013 pasal 12.5.**

Panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi Tarik tidak boleh kurang dari 150 mm.

**(SNI 03-2847-2013 pasal 12.5.1)**

Berdasarkan SNI 03-1847-2013 pasal 12.5.2. Untuk batang tulangan ulir  $\lambda_d$  harus sebesar  $(0,24 \cdot \psi_e \cdot f_y / \lambda \cdot \sqrt{f'_c}) / d_b$  dengan  $\psi_e$  diambil sebesar 1,2 untuk tulangan dilapisi epoksi, dan  $\lambda$  diambil 0,75 untuk beton ringan. Untuk kasus lainnya,  $\psi_e$  dan  $\lambda$  harus diambil sebesar 1,0.



**Gambar 4.77.** Detail Batang Tulangan Berkait untuk Penyaluran Kait Standart

$$\lambda_{dh} = \frac{0,24 \cdot \psi_e \cdot f_y}{\lambda \cdot \sqrt{f'_c}} \times d_b$$

$$\lambda_{dh} = \frac{0,24 \times 1,0 \times 400}{1,0 \sqrt{30}} \times 16$$

$$= 280,434 \text{ mm}$$

Syarat :  $\lambda_{dh} > 150 \text{ mm}$

280,434 mm > 150 mm (**memenuhi**)

1. Reduksi panjang penyaluran tulangan balok tumpuan kiri (tulangan lebih) :

$$\lambda_{reduksi} = \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ pasang}} \cdot \lambda_d$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{551,460}{603,186} \cdot (280,434) \\
 &= 256,358 \text{ mm} \\
 &\approx 260 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tarik di tumpuan kiri 260 mm.

2. Reduksi panjang penyaluran tulangan balok tumpuan kanan (tulangan lebih) :

$$\begin{aligned}
 \lambda_{\text{reduksi}} &= \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ pasang}} \cdot \lambda_d \\
 &= \frac{259,065}{402,124} \cdot (256,434) \\
 &= 165,205 \text{ mm} \\
 &\approx 170 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tarik di tumpuan kanan 170 mm.

3. Reduksi panjang penyaluran tulangan balok lapangan (tulangan lebih) :

$$\begin{aligned}
 \lambda_{\text{reduksi}} &= \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ pasang}} \cdot \lambda_d \\
 &= \frac{114,837}{402,124} \cdot (256,43) \\
 &= 73,23 \text{ mm} \\
 &\approx 75 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tarik di lapangan 75 mm.

Panjang kait

$$\begin{aligned}
 12 \cdot d_b &= 12 \cdot (16) \\
 &= 192 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

- Penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tekan  
 Penyaluran tulangan dalam kondisi tekan dihitung berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 12.3.  
 Panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tekan tidak boleh kurang dari 200 mm.  
**(SNI 03-2847-2013 pasal 12.3.1)**

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 12.3.2 panjang penyaluran diambil terbesar dari :

$$\lambda_{dc} = \frac{0,24 \cdot f_y}{\lambda \cdot \sqrt{f'_c}} \times db$$

$$\lambda_{dc} = \frac{0,24 \cdot (400)}{1,0 \sqrt{30}} \times 16$$

$$\lambda_{dc} = 280,433 \text{ mm} \dots\dots\dots(1)$$

$$\lambda_{dc} = (0,043 \times f_y) \times db$$

$$\lambda_{dc} = (0,043 \times 400) \times 16$$

$$\lambda_{dc} = 275,20 \text{ mm} \dots\dots\dots(2)$$

Diambil 280,433 mm

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih) :

$$\begin{aligned} \lambda_{\text{reduksi}} &= \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ pasang}} \cdot \lambda_d \\ &= \frac{120,637}{420,124} \cdot (280,433) \\ &= 80,525 \text{ mm} \\ &\approx 85 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tekan 85 mm.

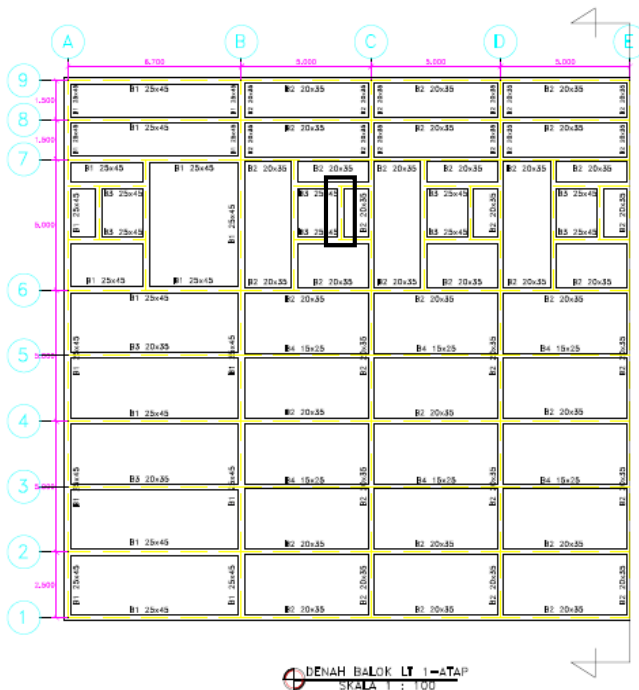
Panjang kait :

$$\begin{aligned} 4d_b + 4d_b &= 4(16) + 4(16) \\ &= 128 \text{ mm} \end{aligned}$$

#### 4.4.4. Perhitungan Balok Lift B5 As 6-7; B-C

##### ❖ Data perencanaan

Perhitungan tulangan balok lift : B5 (40/70) As 6-7 B-C elevasi  $\pm 15,21$ . Berikut data-data perencanaan balok, gambar denah pembalokan, hasil *output* dan diagram gaya dalam dari analisa SAP 2000, ketentuan perhitungan penulangan balok dengan metode SRPMM, perhitungan serta hasil akhir gambar penampang balok adalah sebagai berikut:



**Gambar 4.78.** Denah Pembalokan Lantai

##### ❖ Data-data penulangan balok :

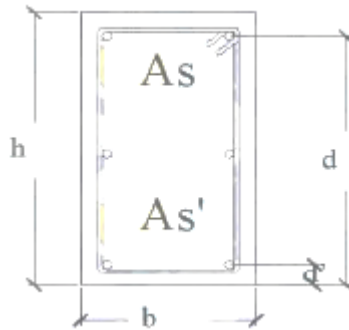
Tipe balok

: B5 (40/70)

Frame Balok	: 572
Bentang balok	: 2090 mm
Dimensi balok (b)	: 400 mm
Dimensi balok (h)	: 700 mm
Kuat tekan beton ( $f_c'$ )	: 30 Mpa
Kuat leleh tulangan lentur ( $f_y$ )	: 400 Mpa
Kuat leleh tulangan geser ( $f_{yv}$ )	: 320 Mpa
Kuat leleh tulangan puntir ( $f_{yt}$ )	: 320 Mpa
Tebal selimut beton	: 40 mm
Diameter tulangan lentur (D)	: 22 mm
Diameter tulangan geser ( $\emptyset$ )	: 10 mm
Diameter tulangan puntir (D)	: 22 mm
Jarak spasi tulangan sejajar	: 25 mm
<b>(SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.1)</b>	
Jarak spasi tulangan antarlapis	: 25 mm
<b>(SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.2)</b>	
Tebal selimut beton ( $t_{decking}$ )	: 40 mm
<b>(SNI 03-2847-2013 pasal 7.7.1)</b>	
Faktor $\beta_1$	: 0,8375
<b>(SNI 03-2847-2013 pasal 10.2.7.(1))</b>	
Faktor reduksi kekuatan lentur	: 0,8
<b>(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(1))</b>	
Faktor reduksi kekuatan geser	: 0,75
<b>(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(3))</b>	
Faktor reduksi kekuatan puntir	: 0,75
<b>(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(3))</b>	

Maka tinggi efektif balok :

$$\begin{aligned}
 d &= h - \text{decking} - \emptyset_{\text{senggang}} - \frac{1}{2} \emptyset_{\text{lentur}} \\
 &= (700 - 40 - 10 - (\frac{1}{2} 22)) \text{ mm} \\
 &= 639 \text{ mm} \\
 d' &= \text{decking} + \emptyset_{\text{senggang}} + \frac{1}{2} \emptyset_{\text{lentur}} \\
 &= (40 + 10 + (\frac{1}{2} 22)) \text{ mm} \\
 &= 61 \text{ mm}
 \end{aligned}$$



**Gambar 4.79.** Tinggi Efektif Balok

- ❖ Hasil *Output* dan Diagram Gaya dalam dari analisa SAP 2000 :

Dari analisa SAP 2000, maka didapatkan hasil *output* dan diagram gaya dalam sehingga digunakan dalam proses perhitungan penulangan balok induk.

Adapun dalam pengambilan hasil *output* dan diagram gaya dalam dari analisa SAP 2000 yaitu gaya yang ditinjau harus ditentukan dan digunakan akibat dari beberapa macam kombinasi pembebanan. Kombinasi pembebanan yang digunakan terdiri dari kombinasi beban gravitasi dan kombinasi beban gempa.

Kombinasi beban gravitasi :

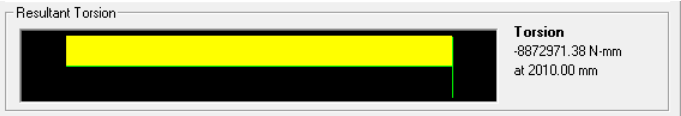
- 1,4D
- 1,2D+1,6L+1,0Lr
- 1,2D+1,6L+1,0W
- 0,9D+1,0W

Kombinasi beban gempa :

Pembebanan dari beban gravitasi dan beban gempa positif serah sumbu X.

- 1,2D+1,0L+1,0Ex+0,3Ey
- 1,2D+1,0L+0,3Ex+1,0Ey

Hasil output diagram torsi

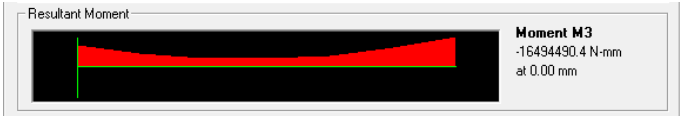


Gambar 4.80. Diagram Torsi Balok

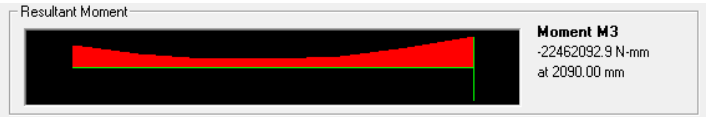
Kombinasi 1,2D+1,6L+0,5Lr

Momen torsi = 8872971,38 N.mm

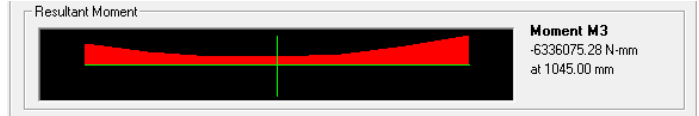
Hasil output diagram momen lentur



Gambar 4.81. Diagram Momen Lentur Tumpuan Kiri Balok Lift B5 40/70 (Kombinasi 1,2D+1,6L+0,5Lr)



Gambar 4.82. Diagram Momen Lentur Tumpuan Kanan Balok Lift B5 40/70 (Kombinasi 1,2D+1,6L+0,5Lr)



Gambar 4.83. Diagram Momen Lentur Lapangan Balok Anak Lift B5 40/70 (Kombinasi 1,2D+1,6L+0,5Lr)



Gambar 4.84. Diagram Momen Lentur Tumpuan Kiri Balok Lift B5 40/70 (Kombinasi 1,2D+1,6L+0,5W)



**Gambar 4.85.** Diagram Momen Lentur Tumpuan Kanan Balok Lift\_B5 40/70 (Kombinasi 1,2D+1,6L+0,5W)



**Gambar 4.86.** Diagram Momen Lentur Lapangan Balok Lift\_B5 40/70 (Kombinasi 1,2D+1,6L+0,5W)

Kombinasi 1,2D+1,6L+0,5Lr

Momen tumpuan kiri = 16494490,4 N.mm

Momen tumpuan kanan = 22462092,9 N.mm

Momen lapangan = 6336075,28 N.mm

Kombinasi 1,2D+1,6L+0,5W

Momen tumpuan kiri = 71589981 N.mm

Momen tumpuan kanan = 10636219,7 N.mm

Momen lapangan = 345628361 N.mm

**Hasil output diagram gaya geser**



**Gambar 4.87.** Diagram Geser pada Tumpuan Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.2,  $V_u$  diambil tepat dari muka kolom sejarak 50 cm dari as kolom. Gaya geser terfaktor  $V_u = 426006,31$  N



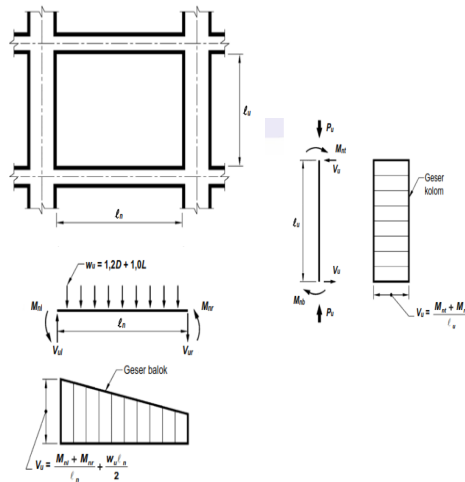
## ❖ Syarat gaya aksial pada balok :

Balok harus memenuhi definisi komponen struktur lentur. Detail penulangan SRPMM harus memenuhi ketentuan-ketentuan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.(2), bila beban aksial tekan terfaktor pada komponen struktur tidak melebihi  $(A_g \cdot f_c')/10$ .

$$\begin{aligned} A_g &= b \times h \\ &= 400 \text{ mm} \times 700 \text{ mm} \\ &= 280000 \text{ mm}^2 \\ F_c' &= 30 \text{ Mpa} \\ (A_g \cdot f_c')/10 &= ((280000) \cdot (30))/10 \\ &= 840000 \text{ N} \end{aligned}$$

Berdasarkan analisa struktur SAP 2000, gaya aksial tekan akibat kombinasi 1,2D+1,6L+0,5W pada komponen struktur sebesar 426006,31 N < 840000 N.

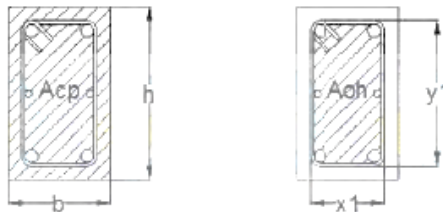
**Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3. mengenai ketentuan perhitungan penulangan balok dengan menggunakan metode sistem rangka pemikul momen menengah.**



**Gambar 4.88.** Gaya Lintang Rencana Komponen Balok pada SRPMM

**Periksa kecukupan dimensi penampang terhadap beban geser lentur dan puntir**

Ukuran penampang balok yang dipakai = 40/70



**Gambar 4.89.** Luasan  $A_{cp}$  dan  $P_{cp}$

Luasan yang dibatasi oleh keliling luar irisan penampang beton

$$\begin{aligned} A_{cp} &= b_{balok} \times h_{balok} \\ &= 400 \text{ mm} \times 700 \text{ mm} \\ &= 280000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Perimeter luas irisan penampang beton  $A_{cp}$ 

$$\begin{aligned}
 P_{cp} &= 2 \times (b_{balok} + h_{balok}) \\
 &= 2 \times (400 \text{ mm} + 700 \text{ mm}) \\
 &= 2200 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Luas penampang dibatasi  $A_s$  tulangan sengkang

$$\begin{aligned}
 A_{oh} &= (b_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \emptyset_{geser}) \times (h_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \emptyset_{geser}) \\
 &= (400 \text{ mm} - 2 \times 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm}) \times (700 \text{ mm} - 2 \times 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm}) \\
 &= 189100 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Keliling penampang dibatasi  $A_s$  tulangan sengkang

$$\begin{aligned}
 P_h &= 2 \times [(b_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \emptyset_{geser}) + (h_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \emptyset_{geser})] \\
 &= 2 \times [(400 \text{ mm} - 2 \times 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm}) + (700 \text{ mm} - 2 \times 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm})] \\
 &= 1840 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

**4.4.4.1. Perhitungan Penulangan Torsi**

Berdasarkan hasil *output* diagram torsi pada SAP diperoleh momen puntir terbesar :

Momen puntir ultimate

Akibat kombinasi 1,2D+1,6L+0,5Lr

$$T_u = 8872971,38 \text{ N.mm}$$

$$V_u = 426006,31 \text{ N}$$

Momen puntir nominal

$$\begin{aligned}
 T_n &= T_u / \phi \\
 &= (8872971,38) / 0,75 \\
 &= 11830628,51 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

Pengaruh torsi dapat diabaikan bila momen puntir terfaktor  $T_u$  besarnya kurang dari pasa (SNI 03-2847:2013 pasal 11.5.1) :

$$\begin{aligned}
 T_{u \text{ min}} &= \phi \times 0,083 \times \lambda \times \sqrt{f'_c} \times (A_{cp}^2 / P_{cp}^2) \\
 &= 0,75 \times 0,083 \times 1 \times \sqrt{30} \times (280000^2 / 2200) \\
 &= 12150478,04 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

Sedangkan untuk momen puntir terfaktor maksimum  $T_u$  dapat diambil sebesar **(SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.2.2) :**

$$\begin{aligned} T_u \text{ max} &= \phi \times 0,33 \times \lambda \times \sqrt{f'_c} \times (A_{cp}^2 / P_{cp}^2) \\ &= 0,75 \times 0,33 \times 1 \times \sqrt{30} \times (280000^2 / 2200) \\ &= 48309129,57 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Cek pengaruh momen puntir :

Syarat :

$T_{u_{min}} > T_u$  , tidak memerlukan tulangan puntir

$T_{u_{min}} < T_u$  , memerlukan tulangan puntir

$$T_u = 8872971,38 \text{ N.mm}$$

$$T_{u_{min}} = 12150478,04 \text{ N.mm}$$

$T_{u_{min}} > T_u$  , **tidak memerlukan tulangan puntir**

Jadi penampang balok tidak memerlukan penulangan punter yang serupa sengkang-sengkang tertutup dan tulangan memanjang.

**Cek kecukupan penampang menahan momen puntir**

Dimensi penampang melintang harus menuhi ketentuan berikut : **(SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.3.1)**

$$\begin{aligned} \sqrt{\left(\frac{V_u}{b_w \cdot d}\right)^2 + \left(\frac{T_u \cdot P_h}{1,7 \cdot A_{oh}}\right)^2} &\leq \sqrt{\phi \left(\frac{0,16 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d}{b_w \cdot d}\right) + 0,66 \sqrt{f'_c}} \\ \sqrt{\left(\frac{426006,31}{400.639}\right)^2 + \left(\frac{8872971,38 \cdot 1840}{1,7.189100}\right)^2} &\leq \\ \sqrt{0,75 \cdot \left(\frac{0,16 \cdot \sqrt{30} \cdot 400.639}{400.639}\right) + 0,66 \sqrt{30}} & \end{aligned}$$

$0,5078 \leq 2,067$  **(penampang balok mencukupi untuk menahan momen puntir)**

#### 4.4.4.2. Perhitungan Penulangan Lentur

##### Daerah Tumpuan Kiri

Diambil momen yang terbesar, akibat kombinasi :  
1,2D+1,6L+0,5W

##### Garis netral dalam kondisi *balance*

$$\begin{aligned} X_b &= (600 / (600 + f_y)) \times d \\ &= (600 / (600 + 400)) \times 639 \\ &= 383,4 \text{ mm} \end{aligned}$$

##### Garis netral maksimum

$$\begin{aligned} X_{\max} &= 0,75 \times X_b \\ &= 0,75 \times 383,4 \text{ mm} \\ &= 287,55 \text{ mm} \end{aligned}$$

##### Garis netral minimum

$$\begin{aligned} X_{\min} &= d' \\ &= 61 \text{ mm} \end{aligned}$$

##### Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{\text{rencana}} = 150 \text{ mm}$$

##### Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned} C_c' &= 0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_{\text{rencana}} \\ &= 0,85 \times 30 \times 400 \times 0,8375 \times 150 \\ &= 1281375 \text{ N} \end{aligned}$$

##### Luasan tulangan tarik

$$\begin{aligned} A_{sc} &= C_c' / f_y \\ &= 1281375 / 400 \\ &= 3203,438 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

##### Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned} M_{nc} &= A_{sc} \times f_y \times (d - (\beta_1 \times X_{\text{rencana}} / 2)) \\ &= 3203,438 \times 400 \times (639 - ((0,8375 \times 150) / 2)) \\ &= 722695500 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Momen lentur nominal ( $M_n$ )

$$Mu_{tump} = 71589981 \text{ N.mm}$$

$$\begin{aligned} M_n &= 71589981 \text{ N.mm}/0,8 \\ &= 89487476,25 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0$ , maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0$ , maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned} M_{ns} &= M_n - M_{nc} \\ &= 89487476,25 - 722695500 \\ &= -633208023,8 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Maka,  $M_{ns} \leq 0$  (**tidak perlu tulangan lentur tekan**)

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal.

➤ **Perencanaan tulangan lentur tunggal**

Diketahui :

$$f_y = 400 \text{ Mpa}$$

$$f_c' = 30 \text{ Mpa}$$

$$\beta = 0,8375$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_{balance} = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta}{f_y} + \frac{600}{600 + f_y}$$

$$\begin{aligned} \rho_{balance} &= \frac{(0,85) \cdot (30) \cdot (0,8375)}{400} + \frac{600}{600 + 400} \\ &= 0,653 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{max} &= 0,75 \times \rho_{balance} \\ &= 0,75 \times 0,653 \\ &= 0,0244 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} \\ &= \frac{400}{0,85 \cdot (30)} \\ &= 15,69 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
M_u &= 71589981 \text{ N.mm} \\
\phi &= 0,8 \\
d &= 639 \text{ mm} \\
b &= 400 \text{ mm} \\
M_n &= (M_u)/\phi \\
&= (71589981 \text{ N.mm})/(0,8) \\
&= 89487476,25 \text{ N.mm} \\
R_n &= (M_n)/(b.d^2) \\
&= (89487476,25 \text{ N.mm})/((400)(639^2)) \\
&= 0,547 \\
\rho &= \frac{1}{m} \cdot \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2.m.R_n}{f_y}} \right] \\
&= \frac{1}{15,69} \cdot \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2.(15,69).(0,547)}{400}} \right] \\
&= 0,001382
\end{aligned}$$

Syarat,  $\rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$

$$0,0035 < 0,001382 < 0,0244 \text{ (Tidak OK)}$$

Sesuai **SNI 03-2847-2013 pasal 10.5.(3)** sebagai alternatif, untuk komponen struktur besar dan masif luas tulangan yang diperlukan paling sedikit harus sepertiga lebih besar dari yang diperlukan

Maka  $\rho$  diperbesar 30%,  $\rho = 0,001382 \times 1,3 = 0,00179$

Maka  $\rho = 0,0035$

Luasan perlu tulangan lentur tarik

$$\begin{aligned}
A_s &= \rho \times b \times d \\
&= (0,0035).(400 \text{ mm}).(639 \text{ mm}) \\
&= 894,6 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

Jumlah tulangan lentur tarik pakai (sisi atas)

$$\begin{aligned}
n &= A_{s \text{ perlu}} / \text{Luasan D lentur} \\
&= 894,6 / (0,25 \times \pi \times 22^2) \\
&= 2,35 \approx 3 \text{ buah}
\end{aligned}$$

Dipasang tulangan lentur 3D22

Luasan tulangan lentur Tarik pasang (sisi atas)

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ pasang}} &= n_{\text{pasang}} \times \text{luasan } D \text{ lentur} \\
 &= 3 \times 0,25 \times \pi \times 22^2 \\
 &= 1140,398 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ pasang}} &\geq A_{s \text{ perlu}} \\
 1140,398 \text{ mm}^2 &\geq 894,6 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Luasan pasang ( $A_s'$ ) tulangan lentur tekan

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.1 luasan tulangan tidak boleh kurang dari 0,3 tulangan Tarik

$$\begin{aligned}
 A_{s'} &= 0,3 \times A_s \\
 &= 0,3 \times 1140,398 \text{ mm}^2 \\
 &= 342,119 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan lentur tekan pakai (sisi bawah)

$$\begin{aligned}
 n &= A_{s \text{ perlu}} / \text{Luasan } D \text{ lentur} \\
 &= 342,119 / (0,25 \times \pi \times 22^2) \\
 &= 0,899 \approx 2 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Luasan tulangan lentur tekan pasang (sisi bawah)

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ pasang}} &= n_{\text{pasang}} \times \text{luasan } D \text{ lentur} \\
 &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 22^2 \\
 &= 760,265 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol jarak spasi tulangan pakai

Syarat :

$$S_{\text{max}} \geq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm, susun 1 lapis}$$

$$S_{\text{max}} \leq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm, susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan dipakai tulangan tarik satu lapis 3D22 dan tulangan tekan 2D22.

Kontrol tulangan tarik

$$S_{\text{max}} = \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times \phi_{\text{geser}}) - (n \times D)}{n - 1}$$



$$S_{\max} = \frac{400 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (3 \times 22)}{3 - 1}$$

$$= 117 \text{ mm}$$

$$S_{\max} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

$$117 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \text{ (**memenuhi**)}$$

Kontrol tulangan tekan

$$S_{\text{tekan}} = \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times \phi_{\text{geser}}) - (n \times D)}{n - 1}$$

$$S_{\text{tekan}} = \frac{400 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 22)}{2 - 1}$$

$$= 256 \text{ mm}$$

$$S_{\max} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

$$256 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \text{ (**memenuhi**)}$$

Maka dipakai tulangan lentur balok lift B5 (40/70) untuk daerah tumpuan kiri :

- Tulangan lentur tarik susun 1 lapis  
Lapis 1 = 3D22
- Tulangan lentur tekan susun 1 lapis  
Lapis 1 = 2D22

### **Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok**

Kuat momen lentur positif balok pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari sperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka-muka kolom di kedua ujung komponen tersebut. M lentur tumpuan (+)  $\geq 1/3 \times M$  lentur tumpuan (-).

**[SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.(1)]**

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$A_S \text{ pasang} = n_{\text{pasang}} \times \text{luasan } D \text{ lentur}$$

$$= 3 \times 0,25 \times \pi \times 22^2$$

$$= 1140,398 \text{ mm}^2$$

$$A_s'_{\text{pasang}} = n_{\text{pasang}} \times \text{luasan D lentur}$$

$$= 2 \times 0,25 \times \pi \times 22^2$$

$$= 760,265 \text{ mm}^2$$

M lentur tumpuan (+)  $\geq$  (1/3) M lentur tumpuan (-)

$$1140,398 \geq (1/3) 760,265$$

$$1140,398 \geq 253,422 \text{ (memenuhi)}$$

Jadi pada daerah tumpuan kiri, dipasang tulangan :

$$\text{Tulangan tarik} = 3D22$$

$$\text{Tulangan tekan} = 2D22$$

### Kontrol kemampuan penampang

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \times f'_c \times b}$$

$$= \frac{(1140,398) \cdot (400)}{0,85 \times (30) \times (400)}$$

$$= 44,72 \text{ mm}$$

$$M_n \text{ pasang} = A_s \cdot f_y \cdot (d - (a/2))$$

$$= (1140,398) \cdot (400) \cdot (639 - (44,72/2))$$

$$= 281286009,1 \text{ N.mm}$$

$$\phi \cdot M_n \text{ pasang} = 0,8 \times 281286009,1$$

$$= 225028807,3 \text{ N.mm}$$

$$M_u \text{ perlu} = 71589981 \text{ N.mm}$$

$$\phi \cdot M_n \text{ pasang} \geq M_u \text{ perlu}$$

$$225028807,3 \text{ N.mm} \geq 71589981 \text{ N.mm (memenuhi)}$$

Jadi penulangan lentur untuk balok lift B5 (40/70) pada daerah tumpuan kiri dipakai tulangan tarik 3D22 dan tulangan tekan 2D22 dengan susunan sebagai berikut :

- **Tulangan lentur tarik susun 1 lapis**

$$\text{Lapis 1} = 3D22$$

- **Tulangan lentur tekan susun 1 lapis**

$$\text{Lapis 1} = 2D22$$

**Daerah Tumpuan Kanan**

Diambil momen yang terbesar, akibat kombinasi :  
1,2D+1,6L+0,5Lr

**Garis netral dalam kondisi *balance***

$$\begin{aligned} X_b &= (600 / (600 + f_y)) \times d \\ &= (600 / (600 + 400)) \times 639 \\ &= 383,4 \text{ mm} \end{aligned}$$

**Garis netral maksimum**

$$\begin{aligned} X_{\max} &= 0,75 \times X_b \\ &= 0,75 \times 383,4 \text{ mm} \\ &= 287,55 \text{ mm} \end{aligned}$$

**Garis netral minimum**

$$\begin{aligned} X_{\min} &= d' \\ &= 61 \text{ mm} \end{aligned}$$

**Garis netral rencana (asumsi)**

$$X_{\text{rencana}} = 150 \text{ mm}$$

**Komponen beton tertekan**

$$\begin{aligned} C_c' &= 0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_{\text{rencana}} \\ &= 0,85 \times 30 \times 400 \times 0,8375 \times 150 \\ &= 1281375 \text{ N} \end{aligned}$$

**Luasan tulangan tarik**

$$\begin{aligned} A_{sc} &= C_c' / f_y \\ &= 1281375 / 400 \\ &= 3203,438 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

**Momen nominal tulangan lentur tunggal**

$$\begin{aligned} M_{nc} &= A_{sc} \times f_y \times (d - (\beta_1 \times X_{\text{rencana}} / 2)) \\ &= 3203,438 \times 400 \times (639 - ((0,8375 \times 150) / 2)) \\ &= 722695500 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

**Momen lentur nominal (Mn)**

$$M_{\text{utump}} = 22462092,9 \text{ N.mm}$$

$$\begin{aligned} M_n &= 22462092,9 \text{ N.mm}/0,8 \\ &= 28077616,13 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

### Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0$ , maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0$ , maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned} M_{ns} &= M_n - M_{nc} \\ &= 28077616,13 - 722695500 \\ &= -694617883,9 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Maka,  $M_{ns} \leq 0$  (**tidak perlu tulangan lentur tekan**)

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal.

### ➤ **Perencanaan tulangan lentur tunggal**

Diketahui :

$$f_y = 400 \text{ Mpa}$$

$$f_c' = 30 \text{ Mpa}$$

$$\beta = 0,8375$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_{\text{balance}} = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta}{f_y} + \frac{600}{600 + f_y}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{balance}} &= \frac{(0,85) \cdot (30) \cdot (0,8375)}{400} + \frac{600}{600 + 400} \\ &= 0,653 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= 0,75 \times \rho_{\text{balance}} \\ &= 0,75 \times 0,653 \\ &= 0,0244 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} \\ &= \frac{400}{0,85 \cdot (30)} \\ &= 15,69 \end{aligned}$$

$$M_u = 22462092,9 \text{ N.mm}$$

$$\phi = 0,8$$

$$\begin{aligned}
 d &= 639 \text{ mm} \\
 b &= 400 \text{ mm} \\
 M_n &= (M_u)/\phi \\
 &= (22462092,9 \text{ N.mm})/(0,8) \\
 &= 28077616,13 \text{ N.mm} \\
 R_n &= (M_n)/(b.d^2) \\
 &= (28077616,13 \text{ N.mm})/((400)(639^2)) \\
 &= 0,172 \\
 \rho &= \frac{1}{m} \cdot \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2.m.R_n}{f_y}} \right] \\
 &= \frac{1}{15,69} \cdot \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2.(15,69).(0,172)}{400}} \right] \\
 &= 0,000431
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Syarat, } \rho_{\min} < \rho < \rho_{\max} \\
 0,0035 < 0,000431 < 0,0244 \text{ (OK)}
 \end{aligned}$$

Sesuai **SNI 03-2847-2013 pasal 10.5.(3)** sebagai alternatif, untuk komponen struktur besar dan masif luas tulangan yang diperlukan paling sedikit harus sepertiga lebih besar dari yang diperlukan

Maka  $\rho$  diperbesar 30%,  $\rho = 0,000431 \times 1,3 = 0,000561$

Maka  $\rho = 0,0035$

Luasan perlu tulangan lentur tarik

$$\begin{aligned}
 A_s &= \rho \times b \times d \\
 &= (0,0035).(400 \text{ mm}).(639 \text{ mm}) \\
 &= 894,6 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan lentur tarik pakai (sisi atas)

$$\begin{aligned}
 n &= A_{s \text{ perlu}} / \text{Luasan D lentur} \\
 &= 894,6 / (0,25 \times \pi \times 22^2) \\
 &= 2,35 \approx 3 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan lentur 3D22

Luasan tulangan lentur Tarik pasang (sisi atas)

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ pasang}} &= n_{\text{pasang}} \times \text{luasan D lentur} \\
 &= 3 \times 0,25 \times \pi \times 22^2
 \end{aligned}$$

$$= 1140,398 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

$$A_s \text{ pasang} \geq A_s \text{ perlu}$$

$$1140,398 \text{ mm}^2 \geq 894,6 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Luasan pasang ( $A_s'$ ) tulangan lentur tekan

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.1 luasan tulangan tidak boleh kurang dari 0,3 tulangan Tarik

$$\begin{aligned} A_s' &= 0,3 \times A_s \\ &= 0,3 \times 1140,398 \text{ mm}^2 \\ &= 342,119 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan lentur tekan pakai (sisi bawah)

$$\begin{aligned} n &= A_s \text{ perlu} / \text{Luasan D lentur} \\ &= 342,119 / (0,25 \times \pi \times 22^2) \\ &= 0,899 \approx 2 \text{ buah} \end{aligned}$$

Luasan tulangan lentur tekan pasang (sisi bawah)

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= n_{\text{pasang}} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 22^2 \\ &= 760,265 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol jarak spasi tulangan pakai

Syarat :

$$S_{\max} \geq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm, susun 1 lapis}$$

$$S_{\max} \leq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm, susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan dipakai tulangan tarik satu lapis 3D22 dan tulangan tekan 2D22.

Kontrol tulangan tarik

$$\begin{aligned} S_{\max} &= \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times \emptyset_{\text{geser}}) - (n \times D)}{n - 1} \\ S_{\max} &= \frac{400 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (3 \times 22)}{3 - 1} \\ &= 117 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S_{\max} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

117 mm > 25 mm (**memenuhi**)

Kontrol tulangan tekan

$$S_{\text{tekan}} = \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times \phi_{\text{geser}}) - (n \times D)}{n - 1}$$

$$S_{\text{tekan}} = \frac{400 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 22)}{2 - 1}$$

$$= 256 \text{ mm}$$

$S_{\text{max}} \geq S_{\text{syarat agregat}}$

256 mm > 25 mm (**memenuhi**)

Maka dipakai tulangan lentur balok lift B5 (40/70) untuk daerah tumpuan kanan :

- Tulangan lentur tarik susun 1 lapis  
Lapis 1 = 3D22
- Tulangan lentur tekan susun 1 lapis  
Lapis 1 = 2D22

### **Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok**

Kuat momen lentur positif balok pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari sperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka-muka kolom di kedua ujung komponen tersebut.  $M_{\text{lentur tumpuan (+)}} \geq 1/3 \times M_{\text{lentur tumpuan (-)}}$ .

**[SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.(1)]**

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$A_{S \text{ pasang}} = n_{\text{pasang}} \times \text{luasan } D \text{ lentur}$$

$$= 3 \times 0,25 \times \pi \times 22^2$$

$$= 1140,398 \text{ mm}^2$$

$$A_{S' \text{ pasang}} = n_{\text{pasang}} \times \text{luasan } D \text{ lentur}$$

$$= 2 \times 0,25 \times \pi \times 22^2$$

$$= 760,265 \text{ mm}^2$$

M lentur tumpuan (+)  $\geq$  (1/3) M lentur tumpuan (-)

$$1140,398 \geq (1/3) 760,265$$

$$1140,398 \geq 253,422 \text{ (**memenuhi**)}$$

Jadi pada daerah tumpuan kiri, dipasang tulangan :

Tulangan tarik = 3D22

Tulangan tekan = 2D22

### Kontrol kemampuan penampang

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \times f'_c \times b}$$

$$= \frac{(1140,398) \cdot (400)}{0,85 \times (30) \times (400)}$$

$$= 44,72 \text{ mm}$$

$$M_n \text{ pasang} = A_s \cdot f_y \cdot (d - (a/2))$$

$$= (1140,398) \cdot (400) \cdot (639 - (44,72/2))$$

$$= 281286009,1 \text{ N.mm}$$

$$\phi \cdot M_n \text{ pasang} = 0,8 \times 281286009,1$$

$$= 225028807,3 \text{ N.mm}$$

$$M_u \text{ perlu} = 71589981 \text{ N.mm}$$

$$\phi \cdot M_n \text{ pasang} \geq M_u \text{ perlu}$$

$$225028807,3 \text{ N.mm} \geq 71589981 \text{ N.mm (**memenuhi**)}$$

Jadi penulangan lentur untuk balok lift B5 (40/70) pada daerah tumpuan kanan dipakai tulangan tarik 3D22 dan tulangan tekan 2D22 dengan susunan sebagai berikut :

- **Tulangan lentur tarik susun 1 lapis**

Lapis 1 = 3D22

- **Tulangan lentur tekan susun 1 lapis**

Lapis 1 = 2D22



**Daerah Lapangan**

Diambil momen yang terbesar, akibat kombinasi :  
1,2D+1,6L+0,5W

**Garis netral dalam kondisi *balance***

$$\begin{aligned} X_b &= (600/(600+f_y)) \times d \\ &= (600/(600+400)) \times 639 \\ &= 383,4 \text{ mm} \end{aligned}$$

**Garis netral maksimum**

$$\begin{aligned} X_{\max} &= 0,75 \times X_b \\ &= 0,75 \times 383,4 \text{ mm} \\ &= 287,55 \text{ mm} \end{aligned}$$

**Garis netral minimum**

$$\begin{aligned} X_{\min} &= d' \\ &= 61 \text{ mm} \end{aligned}$$

**Garis netral rencana (asumsi)**

$$X_{\text{rencana}} = 150 \text{ mm}$$

**Komponen beton tertekan**

$$\begin{aligned} C_c' &= 0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_{\text{rencana}} \\ &= 0,85 \times 30 \times 400 \times 0,8375 \times 150 \\ &= 1281375 \text{ N} \end{aligned}$$

**Luasan tulangan tarik**

$$\begin{aligned} A_{sc} &= C_c' / f_y \\ &= 1281375 / 400 \\ &= 3203,438 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

**Momen nominal tulangan lentur tunggal**

$$\begin{aligned} M_{nc} &= A_{sc} \times f_y \times (d - (\beta_1 \times X_{\text{rencana}}/2)) \\ &= 3203,438 \times 400 \times (639 - ((0,8375 \times 150)/2)) \\ &= 722695500 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

**Momen lentur nominal (Mn)**

$$M_{u\text{lap}} = 345628361 \text{ N.mm}$$

$$\begin{aligned} M_n &= 345628361 \text{ N.mm}/0,8 \\ &= 432035451,3 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

### Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0$ , maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0$ , maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned} M_{ns} &= M_n - M_{nc} \\ &= 432035451,3 - 722695500 \\ &= -290660048,8 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Maka,  $M_{ns} \leq 0$  (**tidak perlu tulangan lentur tekan**)

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal.

### ➤ **Perencanaan tulangan lentur tunggal**

Diketahui :

$$f_y = 400 \text{ Mpa}$$

$$f_c' = 30 \text{ Mpa}$$

$$\beta = 0,8375$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_{\text{balance}} = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta}{f_y} + \frac{600}{600 + f_y}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{balance}} &= \frac{(0,85) \cdot (30) \cdot (0,8375)}{400} + \frac{600}{600 + 400} \\ &= 0,653 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= 0,75 \times \rho_{\text{balance}} \\ &= 0,75 \times 0,653 \\ &= 0,0244 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m &= \frac{f_y}{0,85 \cdot f_c'} \\ &= \frac{400}{0,85 \cdot (30)} \\ &= 15,69 \end{aligned}$$

$$M_u = 345628361 \text{ N.mm}$$

$$\phi = 0,8$$

$$\begin{aligned}
 d &= 629 \text{ mm} \\
 b &= 400 \text{ mm} \\
 M_n &= (M_u)/\phi \\
 &= (345628361 \text{ N.mm})/(0,8) \\
 &= 432035451,3 \text{ N.mm} \\
 R_n &= (M_n)/(b.d^2) \\
 &= (432035451,3 \text{ N.mm})/((400)(639^2)) \\
 &= 2,645 \\
 \rho &= \frac{1}{m} \cdot \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2.m.R_n}{f_y}} \right] \\
 &= \frac{1}{15,69} \cdot \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2.(15,69).(2,645)}{400}} \right] \\
 &= 0,00699
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Syarat, } \rho_{\min} < \rho < \rho_{\max} \\
 0,0035 < 0,00699 < 0,0244 \text{ (OK)}
 \end{aligned}$$

$$\text{Maka } \rho = 0,00699$$

Luasan perlu tulangan lentur tarik

$$\begin{aligned}
 A_s &= \rho \times b \times d \\
 &= (0,00699).(400 \text{ mm}).(639 \text{ mm}) \\
 &= 1775,46 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan lentur tarik pakai (sisi atas)

$$\begin{aligned}
 n &= A_{s \text{ perlu}} / \text{Luasan D lentur} \\
 &= 1775,46 / (0,25 \times \pi \times 22^2) \\
 &= 4,67 \approx 5 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan lentur 5D22

Luasan tulangan lentur Tarik pasang (sisi atas)

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ pasang}} &= n_{\text{pasang}} \times \text{luasan D lentur} \\
 &= 5 \times 0,25 \times \pi \times 22^2 \\
 &= 1900,664 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ pasang}} &\geq A_{s \text{ perlu}} \\
 1775,46 \text{ mm}^2 &\geq 1900,664 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Luasan pasang ( $A_s'$ ) tulangan lentur tekan

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.1 luasan tulangan tidak boleh kurang dari 0,3 tulangan Tarik

$$\begin{aligned} A_s' &= 0,3 \times A_s \\ &= 0,3 \times 1900,664 \text{ mm}^2 \\ &= 570,199 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan lentur tekan pakai (sisi bawah)

$$\begin{aligned} n &= A_s \text{ perlu} / \text{Luasan D lentur} \\ &= 570,199 / (0,25 \times \pi \times 22^2) \\ &= 0,71 \approx 2 \text{ buah} \end{aligned}$$

Luasan tulangan lentur tekan pasang (sisi bawah)

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= n_{\text{pasang}} \times \text{luasan D lentur} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 22^2 \\ &= 760,265 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Kontrol jarak spasi tulangan pakai

Syarat :

$$S_{\max} \geq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm, susun 1 lapis}$$

$$S_{\max} \leq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm, susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan dipakai tulangan tarik satu lapis 5D22 dan tulangan tekan 2D22.

Kontrol tulangan tarik

$$\begin{aligned} S_{\max} &= \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times \emptyset_{\text{geser}}) - (n \times D)}{n - 1} \\ S_{\max} &= \frac{400 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (5 \times 22)}{5 - 1} \\ &= 47,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$S_{\max} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

$$47,5 \text{ mm} > 25 \text{ mm (memenuhi)}$$

Kontrol tulangan tekan

$$S_{tekan} = \frac{b - (2 \times t_{selimut}) - (2 \times \phi_{geser}) - (n \times D)}{n - 1}$$

$$S_{tekan} = \frac{400 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 22)}{2 - 1}$$

$$= 256 \text{ mm}$$

$$S_{max} \geq S_{syarat \text{ agregat}}$$

$$256 \text{ mm} > 25 \text{ mm (memenuhi)}$$

Maka dipakai tulangan lentur balok lift B5 (40/70) untuk daerah lapangan :

- Tulangan lentur tarik susun 1 lapis  
Lapis 1 = 5D22
- Tulangan lentur tekan susun 1 lapis  
Lapis 1 = 2D22

### **Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok**

Kuat momen lentur positif balok pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari sperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka-muka kolom di kedua ujung komponen tersebut.  $M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq 1/3 \times M \text{ lentur tumpuan (-)}$ .

#### **[SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.(1)]**

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$A_{s \text{ pasang}} = n_{\text{pasang}} \times \text{luasan } D \text{ lentur}$$

$$= 5 \times 0,25 \times \pi \times 22^2$$

$$= 1900,664 \text{ mm}^2$$

$$A_{s' \text{ pasang}} = n_{\text{pasang}} \times \text{luasan } D \text{ lentur}$$

$$= 2 \times 0,25 \times \pi \times 22^2$$

$$= 760,265 \text{ mm}^2$$

$$M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq (1/3) M \text{ lentur tumpuan (-)}$$

$$1900,664 \geq (1/3) 760,265$$

$$1900,664 \geq 253,422 \text{ (memenuhi)}$$

Jadi pada daerah lapangan, dipasang tulangan :

Tulangan tarik = 5D22

Tulangan tekan = 2D22

### Kontrol kemampuan penampang

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \\ &= \frac{(1900,664) \cdot (400)}{0,85 \times (30) \times (400)} \\ &= 74,535 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n \text{ pasang} &= A_s \cdot f_y \cdot (d - (a/2)) \\ &= (1900,664) \cdot (400) \cdot (639 - (74,35/2)) \\ &= 457476520,2 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi \cdot M_n \text{ pasang} &= 0,8 \times 457476520,2 \\ &= 365981216,1 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

$$M_u \text{ perlu} = 345628361 \text{ N.mm}$$

$$\phi \cdot M_n \text{ pasang} \geq M_u \text{ perlu}$$

$$365981216,1 \text{ N.mm} \geq 345628361 \text{ N.mm} \text{ (memenuhi)}$$

Jadi penulangan lentur untuk balok lift B5 (40/70) pada daerah lapangan dipakai tulangan tarik 5D22 dan tulangan tekan 2D22 dengan susunan sebagai berikut :

- **Tulangan lentur tarik susun 1 lapis**  
Lapis 1 = 5D22
- **Tulangan lentur tekan susun 1 lapis**  
Lapis 1 = 2D22

#### 4.4.4.3. Perhitungan Penulangan Geser

Tipe balok	: B5 (40/70)
Dimensi balok (b)	: 400 mm
Dimensi balok (h)	: 700 mm
Kuat tekan beton ( $f'_c$ )	: 30 Mpa
Kuat leleh tulangan geser ( $f_{yv}$ )	: 320 Mpa
Diameter tulangan geser ( $\emptyset$ )	: 10 mm
$\beta_1$	: 0,8375

Faktor reduksi kekuatan geser : 0,75

Berdasarkan perhitungan tulangan lentur pada balok lift B5 (40/70) elevasi +15,21, didapat :

*Momen Nominal Kiri*

Momen nominal kiri diperoleh dari hasil perhitungan tulangan lentur tumpuan kiri dengan luasan tulangan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \\ &= \frac{(1140,398) \cdot (400)}{0,85 \times (30) \times (400)} \\ &= 44,72 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n \text{ pasang} &= A_s \cdot f_y \cdot (d - (a/2)) \\ &= (1140,398) \cdot (400) \cdot (639 - (44,72/2)) \\ &= 281286009,1 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

*Momen Nominal Kanan*

Momen nominal kanan diperoleh dari hasil perhitungan tulangan lentur tumpuan kanan dengan luasan tulangan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \\ &= \frac{(1140,398) \cdot (400)}{0,85 \times (30) \times (400)} \\ &= 44,72 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n \text{ pasang} &= A_s \cdot f_y \cdot (d - (a/2)) \\ &= (1140,398) \cdot (400) \cdot (639 - (44,72/2)) \\ &= 281286009,1 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil *output* dan diagram gaya dalam akibat kombinasi 1,2D+1,6L+0,5Lr dari analisa SAP 2000 didapatkan :

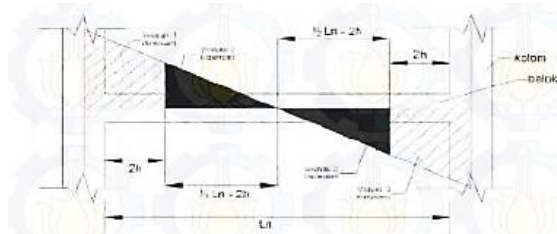
Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.2,  $V_u$  diambil tepat dari muka kolom :

Gaya geser terfaktor  $V_u = 426006,31 \text{ N}$

Pembagian Wilayah Geser Balok

Dalam perhitungan tulangan geser (senggang) pada balok, wilayah balok dibagi menjadi 3 wilayah yaitu :

- Wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan), sejarak dua kali tinggi balok dari muka kolom ke arah tengah bentang (SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4.2)
- Wilayah 2 (daerah lapangan), dimulai dari wilayah 1 atau 3 ke  $\frac{1}{2}$  bentang balok.



**Gambar 4.90.** Pembagian Wilayah Geser pada Balok

$$\sqrt{f'_c} < (25/3)$$

$$\sqrt{30} < 8,33$$

$$5,477 < 8,33 \text{ (memenuhi)}$$

Kuat geser beton (SNI 03-2847-2013 Pasal 11.2.1.1)

$$\begin{aligned} V_C &= 0,17 \times \sqrt{f'_c} \times b \times d \\ &= 0,17 \times \sqrt{30} \times 400 \times 639 \\ &= 237996,41 \text{ N} \end{aligned}$$

Kuat geser tulangan geser

$$\begin{aligned} V_{S \text{ min}} &= 0,33 \times b \times d \\ &= 0,33 \times 400 \times 639 \\ &= 84348 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{S \text{ max}} &= 0,33 \times \sqrt{f'_c} \times b \times d \\ &= 0,33 \times \sqrt{30} \times 400 \times 639 \\ &= 461993,023 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2. V_{S \text{ max}} &= 0,66 \times \sqrt{f'_c} \times b \times d \\ &= 0,66 \times \sqrt{30} \times 400 \times 639 \\ &= 923986,05 \text{ N} \end{aligned}$$

Penulangan geser balok

1. Pada wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan)



Gaya geser diperoleh dari :

$$V_{u1} = \frac{M_{nl} + M_{nr}}{L_n} + \frac{W_u \times L_n}{2}$$

$$V_{u1} = \frac{M_{nl} + M_{nr}}{L_n} + V_u$$

**(SNI 03-2847-2013 pasal 21.3)**

Dimana :

$V_{u1}$  = Gaya geser pada muka perletakan

$M_{nl}$  = Momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kiri)

$M_{nr}$  = Momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kanan)

$L_n$  = Panjang balok

Maka :

$$V_{u1} = \frac{281286009,1 + 281286009,1}{2090} + 426006,31$$

$$= 695179,524 \text{ N}$$

Kondisi 1

$V_U \leq 0,5 \phi V_C$ , tidak perlu tulangan geser

$$V_U = 695179,524 \text{ N}$$

$$0,5 \cdot \phi \cdot V_C = 0,5 \cdot (0,75) \cdot (237996,41)$$

$$= 89248,653 \text{ N}$$

$695179,524 \text{ N} > 89248,653 \text{ N}$  **(Tidak memenuhi)**

Kondisi 2

$0,5 \phi V_C \leq V_U \leq \phi \cdot V_C$ , tulangan geser

$$0,5 \cdot \phi \cdot V_C = 0,5 \cdot (0,75) \cdot (237996,41)$$

$$= 89248,653 \text{ N}$$

$$\phi \cdot V_C = (0,75) \cdot (237996,41)$$

$$= 178497,31 \text{ N}$$

$$V_U = 695179,524 \text{ N}$$

$89248,653 \text{ N} \leq 695179,524 \text{ N} > 178497,31 \text{ N}$   
**(Tidak memenuhi)**

Kondisi 3

$\phi \cdot V_C \leq V_U \leq \phi \cdot (V_C + V_{s \min})$ , tulangan geser

$$\phi \cdot V_C = (0,75) \cdot (237996,41)$$

$$\begin{aligned}
 &= 178497,31 \text{ N} \\
 \phi \cdot (V_C + V_{S \min}) &= 0,75 \cdot (237996,41 + 84348) \\
 &= 241758,31 \text{ N} \\
 V_U &= 695179,524 \text{ N} \\
 178497,31 \text{ N} &\leq 695179,524 \text{ N} > 241758,31 \text{ N} \\
 &\textbf{(Tidak memenuhi)}
 \end{aligned}$$

#### Kondisi 4

$$\begin{aligned}
 \phi \cdot (V_C + V_{S \min}) &\leq V_U \leq \phi \cdot (V_C + V_{S \max}), \text{ tulan-} \\
 &\text{geser} \\
 \phi \cdot (V_C + V_{S \min}) &= 0,75 \cdot (237996,41 + 84348) \\
 &= 241758,31 \text{ N} \\
 \phi \cdot (V_C + V_{S \max}) &= 0,75 \cdot (237996,41 + 461993,023) \\
 &= 524992,08 \text{ N} \\
 V_U &= 695179,524 \text{ N} \\
 241758,31 \text{ N} &\leq 695179,524 \text{ N} > 524992,08 \text{ N} \\
 &\textbf{(Tidak memenuhi)}
 \end{aligned}$$

#### Kondisi 5

$$\begin{aligned}
 \phi \cdot (V_C + V_{S \max}) &\leq V_U \leq \phi \cdot (V_C + 2 \cdot V_{S \max}), \text{ tulan-} \\
 &\text{geser} \\
 \phi \cdot (V_C + V_{S \max}) &= 0,75 \cdot (237996,41 + 461993,023) \\
 &= 524992,08 \text{ N} \\
 \phi \cdot (V_C + 2V_{S \max}) &= 0,75 \cdot (237996,41 + 923986,05) \\
 &= 871486,85 \text{ N} \\
 V_U &= 695179,524 \text{ N} \\
 524992,08 \text{ N} &< 695179,524 \text{ N} \leq 871486,85 \text{ N} \\
 &\textbf{(memenuhi)}
 \end{aligned}$$

Maka direncanakan penulangan geser balok diambil berdasarkan **kondisi 5**.

$$\begin{aligned}
 V_{S \text{ perlu}} &= \frac{V_U - \phi \cdot V_C}{\phi} \\
 &= \frac{695179,524 - (0,75) \cdot (237996,41)}{0,75} \\
 &= 688909,622 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser Ø10 mm dengan 2 kaki, maka luasan tulangan geser :

$$\begin{aligned} A_v &= (0,25 \times \pi \times \varnothing^2) \times n_{\text{kaki}} \\ &= 0,25 \times \pi \times 10^2 \times 2 \\ &= 157,88 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jarak tulangan geser perlu ( $S_{\text{perlu}}$ )

$$\begin{aligned} S_{\text{perlu}} &= \frac{A_v \times f_{yv} \times d}{V_{s \text{ perlu}}} \\ &= \frac{(157,88) \times (320) \times (639)}{688909,622} \\ &= 46,86 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka dipasang jarak 50 mm antar tulangan geser.

Kontrol jarak spasi tulangan geser berdasarkan kondisi 5

$$S_{\text{max}} < (d/2) \text{ atau } S_{\text{max}} < 300 \text{ mm}$$

- $50 \text{ mm} < (639/2)$
- $50 \text{ mm} < 319,5 \text{ mm}$  (**memenuhi**)
- $50 \text{ mm} < 300$  (**memenuhi**)

### **Cek persyaratan SRPMM untuk kekuatan geser balok**

Pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus dipasang sengkang sepanjang jarak dua kali komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama dipasang pada jarak tidak lebih dari 50 mm dari muka perletakan.

Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi :

- a.  $d/4$
- b. delapan kali diameter tulangan longitudinal
- c. 24 kali diameter sengkang
- d. 300 mm

(SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.(2))

$$S_{\text{pakai}} < (d/4)$$

$$50 \text{ mm} < (639/4) \text{ mm}$$

$$50 \text{ mm} < 159,75 \text{ mm} \text{ (**memenuhi**)}$$

$$S_{\text{pakai}} < 8.D_{\text{lentur}}$$

$$50 \text{ mm} < 8.(22) \text{ mm}$$

$$50 \text{ mm} < 176 \text{ mm} \text{ (**memenuhi**)}$$

$$S_{\text{pakai}} < 24.\phi_{\text{sengkan}}$$

$$50 \text{ mm} < 24.(10) \text{ mm}$$

$$50 \text{ mm} < 240 \text{ mm} \text{ (**memenuhi**)}$$

$$S_{\text{pakai}} < 300 \text{ mm}$$

$$50 \text{ mm} < 300 \text{ mm} \text{ (**memenuhi**)}$$

**Jadi, penulangan geser balok untuk balok B5 (40/70) pada wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan) dipasang Ø10-50 dengan sengkang 2 kaki.**

2. Pada wilayah 2 (daerah lapangan)

Gaya geser pada wilayah 2 diperoleh dengan menggunakan metode perbandingan segitiga, dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \frac{V_{u2}}{\frac{1}{2} \cdot L_n - 2 \cdot h} &= \frac{V_{u1}}{\frac{1}{2} \cdot L_n} \\ V_{u2} &= \frac{V_{u1} \times (\frac{1}{2} \cdot L_n - 2 \cdot h)}{\frac{1}{2} \cdot L_n} \\ &= \frac{(695179,524) \times (\frac{1}{2} \cdot (2090) - 2 \cdot (700))}{\frac{1}{2} \cdot (2090)} \\ &= -236127,493 \text{ N} \end{aligned}$$

Kondisi 1

$V_u \leq 0,5 \phi V_c$ , tidak perlu tulangan geser

$$V_u = -236127,493 \text{ N}$$

$$0,5 \cdot \phi \cdot V_c = 0,5 \cdot (0,75) \cdot (237996,41)$$

$$= 89248,653 \text{ N}$$

$$-236127,493 \text{ N} < 89248,653 \text{ N} \text{ (**memenuhi**)}$$

Maka perencanaan kondisi penulangan geser balok diambil berdasarkan **kondisi 1**.

Maka dipasang jarak minimum 130 mm antar tulangan geser.

#### **Cek persyaratan SRPMM untuk kekuatan geser balok**

Pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus dipasang sengkang sepanjang jarak dua kali komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama dipasang pada jarak tidak lebih dari 50 mm dari muka perletakan.

Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi :

- $d/4$
- delapan kali diameter tulangan longitudinal
- 24 kali diameter sengkang
- 300 mm

**(SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.(2))**

$$S_{\text{pakai}} < (d/4)$$

$$130 \text{ mm} < (639/4) \text{ mm}$$

$$130 \text{ mm} < 159,75 \text{ mm} \text{ (memenuhi)}$$

$$S_{\text{pakai}} < 8.D_{\text{lentur}}$$

$$130 \text{ mm} < 8.(22) \text{ mm}$$

$$130 \text{ mm} < 176 \text{ mm} \text{ (memenuhi)}$$

$$S_{\text{pakai}} < 24.\phi_{\text{sengkang}}$$

$$130 \text{ mm} < 24.(10) \text{ mm}$$

$$130 \text{ mm} < 240 \text{ mm} \text{ (memenuhi)}$$

$$S_{\text{pakai}} < 300 \text{ mm}$$

$$130 \text{ mm} < 300 \text{ mm} \text{ (memenuhi)}$$

**Jadi, penulangan geser balok untuk balok B5 (40/70) pada wilayah 2 (daerah lapangan) dipasang Ø10-130 dengan sengkang 2 kaki.**

#### **4.4.4.4. Perhitungan Panjang Penyaluran**

Gaya tarik dan tekan pada tulangan di setiap penampang komponen struktur beton bertulangan harus disalurkan pada masing-masing penampang melalui penyaluran

tulangan. Adapun perhitungan penyaluran tulangan berdasarkan **SNI 03-2847-2013 pasal 12.**

- Penyaluran tulangan dalam kondisi tarik  
Penyaluran tulangan dalam kondisi tarik dihitung berdasarkan **SNI 03-2847-2013 pasal 12.2**

Panjang penyaluran untuk batang ulir dan kawat dalam kondisi tarik tidak boleh kurang dari 300 mm.

(**SNI 03-2847-2013 pasal 12.2.1**)

Untuk panjang penyaluran batang ulir dan kawat ulir dapat dihitung berdasarkan **SNI 03-2847-2013 tabel pada pasal 12.2** sebagai berikut.

	Batang tulangan atau kawat ulir D-19 dan yang lebih kecil	Batang tulangan D-22 dan yang lebih besar
Spasi bersih batang tulangan atau kawat yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari $d_b$ , selimut bersih tidak kurang dari $d_b$ , dan sengkang atau pengikat sepanjang $\ell_d$ tidak kurang dari minimum Tata Cara atau Spasi bersih batang tulangan atau kawat yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari $2d_b$ dan selimut bersih tidak kurang dari $d_b$	$\left( \frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{2,1\lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b$	$\left( \frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{1,7\lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b$
Kasus-kasus lain	$\left( \frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{1,4\lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b$	$\left( \frac{f_y \Psi_t \Psi_e}{1,1\lambda \sqrt{f'_c}} \right) d_b$

**Gambar 4.91.** Panjang Penyaluran Batang Ulir dan Kawat Ulir

Dimana,

$\lambda_d$  = panjang penyaluran tulangan kondisi Tarik

$d_b$  = diameter tulangan lentur yang dipakai

$\Psi_t$  = faktor lokasi penulangan

$\Psi_e$  = faktor pelapis

dimana nilai dari masing-masing faktor :

$\lambda$  = 1,0 (untuk beton berat normal)

$\Psi_t$  = 1,0 (tulangan yang lain)

$\Psi_e$  = 1,5 (batang/kawat tulangan berlapis epoksi dengan selimut beton kurang dari  $3d_b$  atau spasi bersih kurang dari  $6d_b$ )

$d_b$  = 22 mm

**Perhitungan**

$$\begin{aligned}
 \lambda_d &= \frac{f_y \cdot \Psi_t \cdot \Psi_e}{1,7 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c}} \cdot d_b \\
 &= \frac{(400) \cdot (1,0) \cdot (1,5)}{1,7 \cdot (1,0) \cdot \sqrt{30}} \cdot (22) \\
 &= 1417,634 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Syarat :

$$\lambda_d > 300 \text{ mm}$$

$$1417,634 \text{ mm} > 300 \text{ mm} \text{ (**memenuhi**)}$$

1. Reduksi panjang penyaluran tulangan balok tumpuan kiri (tulangan lebih) :

$$\begin{aligned}
 \lambda_{\text{reduksi}} &= \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ pasang}} \cdot \lambda_d \\
 &= \frac{894,6}{1140,398} \cdot (1417,634) \\
 &= 1112,08 \text{ mm} \\
 &\approx 1120 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tarik di daerah tumpuan kiri 1120 mm.

2. Reduksi panjang penyaluran tulangan balok tumpuan kanan (tulangan lebih) :

$$\begin{aligned}
 \lambda_{\text{reduksi}} &= \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ pasang}} \cdot \lambda_d \\
 &= \frac{894,6}{1140,398} \cdot (1417,634) \\
 &= 1112,08 \text{ mm} \\
 &\approx 1120 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Maka panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tarik di daerah tumpuan kanan 1120 mm.

3. Reduksi panjang penyaluran tulangan balok lapangan (tulangan lebih) :

$$\begin{aligned}
 \lambda_{\text{reduksi}} &= \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ pasang}} \cdot \lambda_d \\
 &= \frac{1175,46}{1900,664} \cdot (1417,634) \\
 &= 876,731 \text{ mm} \\
 &\approx 880 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

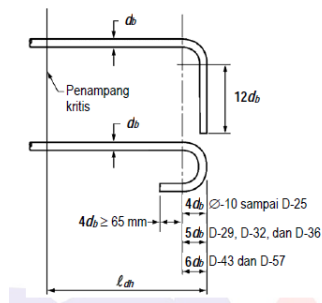
Maka panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tarik di daerah lapangan 880 mm.

- Penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik  
Penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik dihitung berdasarkan **SNI 03-2847-2013 pasal 12.5.**

Panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi Tarik tidak boleh kurang dari 150 mm.

**(SNI 03-2847-2013 pasal 12.5.1)**

Berdasarkan SNI 03-1847-2013 pasal 12.5.2. Untuk batang tulangan ulir  $\lambda_d$  harus sebesar  $(0,24 \cdot \psi_e \cdot f_y / \lambda \cdot \sqrt{f'_c}) / d_b$  dengan  $\psi_e$  diambil sebesar 1,2 untuk tulangan dilapisi epoksi, dan  $\lambda$  diambil 0,75 untuk beton ringan. Untuk kasus lainnya,  $\psi_e$  dan  $\lambda$  harus diambil sebesar 1,0.



**Gambar 4.92.** Detail Batang Tulangan Berkait untuk Penyaluran Kait Standart

$$\lambda_{dh} = \frac{0,24 \cdot \psi_e \cdot f_y}{\lambda \cdot \sqrt{f'_c}} \times d_b$$

$$\lambda_{dh} = \frac{0,24 \times 1,0 \times 400}{1,0 \sqrt{30}} \times 22$$

$$= 385,6 \text{ mm}$$

Syarat :  $\lambda_{dh} > 150 \text{ mm}$

385,6 mm > 150 mm (**memenuhi**)



1. Reduksi panjang penyaluran tulangan balok tumpuan kiri (tulangan lebih) :

$$\begin{aligned}\lambda_{\text{reduksi}} &= \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ pasang}} \cdot \lambda_d \\ &= \frac{894,6}{1140,398} \cdot (385,6) \\ &= 302,488 \text{ mm} \\ &\approx 310 \text{ mm}\end{aligned}$$

Maka panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tarik di tumpuan kiri 310 mm.

2. Reduksi panjang penyaluran tulangan balok tumpuan kanan (tulangan lebih) :

$$\begin{aligned}\lambda_{\text{reduksi}} &= \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ pasang}} \cdot \lambda_d \\ &= \frac{894,6}{1140,398} \cdot (385,6) \\ &= 302,488 \text{ mm} \\ &\approx 310 \text{ mm}\end{aligned}$$

Maka panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tarik di tumpuan kanan 310 mm.

3. Reduksi panjang penyaluran tulangan balok lapangan (tulangan lebih) :

$$\begin{aligned}\lambda_{\text{reduksi}} &= \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ pasang}} \cdot \lambda_d \\ &= \frac{1175,46}{1900,664} \cdot (385,6) \\ &= 238,473 \text{ mm} \\ &\approx 240 \text{ mm}\end{aligned}$$

Maka panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tarik di lapangan 240 mm.

Panjang kait

$$\begin{aligned}12.d_b &= 12 \cdot (22) \\ &= 264 \text{ mm}\end{aligned}$$

- Penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tekan  
Penyaluran tulangan dalam kondisi tekan dihitung berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 12.3.

Panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tekan tidak boleh kurang dari 200 mm.

**(SNI 03-2847-2013 pasal 12.3.1)**

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 12.3.2 panjang penyaluran diambil terbesar dari :

$$\lambda_{dc} = \frac{0,24 \cdot f_y}{\lambda \cdot \sqrt{f'_c}} \times db$$

$$\lambda_{dc} = \frac{0,24 \cdot (400)}{1,0 \sqrt{30}} \times 22$$

$$\lambda_{dc} = 385,6 \text{ mm} \dots\dots\dots(1)$$

$$\lambda_{dc} = (0,043 \times f_y) \times db$$

$$\lambda_{dc} = (0,043 \times 400) \times 22$$

$$\lambda_{dc} = 378,4 \text{ mm} \dots\dots\dots(2)$$

Diambil 385,6 mm

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih) :

$$\lambda_{\text{reduksi}} = \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ pasang}} \cdot \lambda_d$$

$$= \frac{570,199}{760,265} \cdot (385,6)$$

$$= 289,2 \text{ mm}$$

$$\approx 300 \text{ mm}$$

Maka panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tekan 300 mm.

Panjang kait :

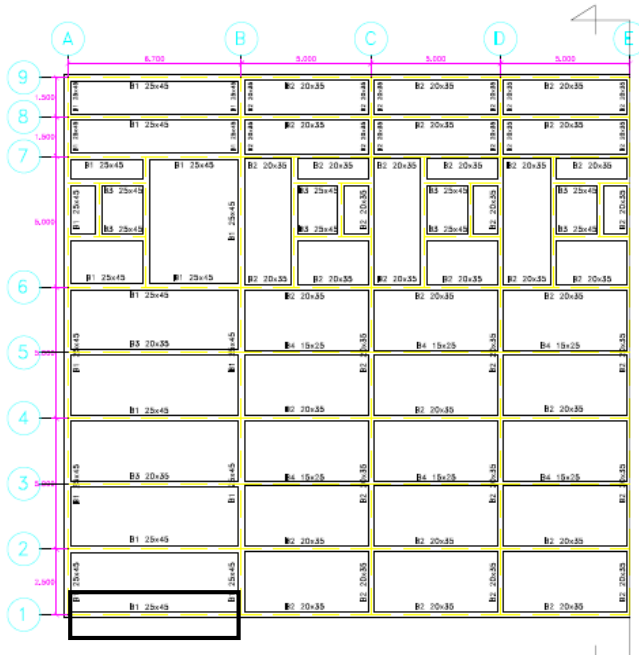
$$4d_b + 4d_b = 4(22) + 4(22)$$

$$= 176 \text{ mm}$$

#### 4.4.5. Perhitungan Balok Tarik/ Sloof/Tie Beam S1 As 1; A-B

##### ❖ Data perencanaan

Perhitungan tulangan balok anak : S1 (25/45) As 1 A-B elevasi  $\pm 0,00$ . Berikut data-data perencanaan balok, gambar denah sloof, hasil *output* dan diagram gaya dalam dari analisa SAP 2000, ketentuan perhitungan penulangan balok dengan metode SRPMM, perhitungan serta hasil akhir gambar penampang balok adalah sebagai berikut:



**Gambar 4.93.** Denah Sloof

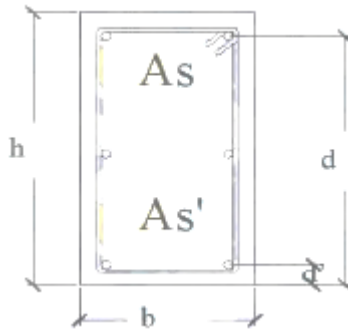
##### ❖ Data-data penulangan balok tarik :

Tipe balok	: S1 (20/50)
Frame Balok	: 1
Bentang balok	: 6700 mm

Dimensi balok (b)	: 300 mm
Dimensi balok (h)	: 500 mm
Kuat tekan beton ( $f_c'$ )	: 30 Mpa
Kuat leleh tulangan lentur ( $f_y$ )	: 400 Mpa
Kuat leleh tulangan geser ( $f_{yv}$ )	: 320 Mpa
Kuat leleh tulangan puntir ( $f_{yt}$ )	: 320 Mpa
Tebal selimut beton	: 40 mm
Diameter tulangan lentur (D)	: 19 mm
Diameter tulangan geser ( $\emptyset$ )	: 10 mm
Diameter tulangan puntir (D)	: 13 mm
Jarak spasi tulangan sejajar	: 25 mm
<b>(SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.1)</b>	
Jarak spasi tulangan antarlapis	: 25 mm
<b>(SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.2)</b>	
Tebal selimut beton ( $t_{decking}$ )	: 40 mm
<b>(SNI 03-2847-2013 pasal 7.7.1)</b>	
Faktor $\beta_1$	: 0,8375
<b>(SNI 03-2847-2013 pasal 10.2.7.(1))</b>	
Faktor reduksi kekuatan lentur	: 0,8
<b>(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(1))</b>	
Faktor reduksi kekuatan geser	: 0,75
<b>(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(3))</b>	
Faktor reduksi kekuatan puntir	: 0,75
<b>(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(3))</b>	

Maka tinggi efektif balok :

$$\begin{aligned}
 d &= h - decking - \emptyset_{sengkang} - \frac{1}{2} \emptyset_{lentur} \\
 &= (500 - 40 - 10 - (\frac{1}{2} 29)) \text{ mm} \\
 &= 410,5 \text{ mm} \\
 d' &= decking + \emptyset_{sengkang} + \frac{1}{2} \emptyset_{lentur} \\
 &= (40 + 10 + (\frac{1}{2} 19)) \text{ mm} \\
 &= 59,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$



**Gambar 4.94.** Tinggi Efektif Balok Tarik

- ❖ Hasil *Output* dan Diagram Gaya dalam dari analisa SAP 2000 :

Dari analisa SAP 2000, maka didapatkan hasil *output* dan diagram gaya dalam sehingga digunakan dalam proses perhitungan penulangan balok tarik.

Adapun dalam pengambilan hasil *output* dan diagram gaya dalam dari analisa SAP 2000 yaitu gaya yang ditinjau harus ditentukan dan digunakan akibat dari beberapa macam kombinasi pembebanan. Kombinasi pembebanan yang digunakan terdiri dari kombinasi beban gravitasi dan kombinasi beban gempa.

Kombinasi beban gravitasi :

- 1,4D
- 1,2D+1,6L+1,0Lr
- 1,2D+1,6L+1,0W
- 0,9D+1,0W

Kombinasi beban gempa :

Pembebanan dari beban gravitasi dan beban gempa positif serah sumbu X.

- 1,2D+1,0L+1,0Ex+0,3Ey
- 1,2D+1,0L+0,3Ex+1,0Ey

### Hasil *output* diagram torsi

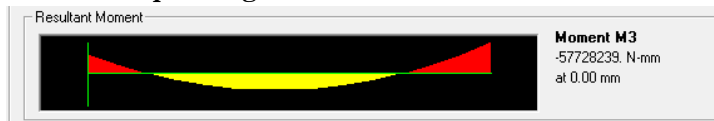


**Gambar 4.95.** Diagram Torsi Balok

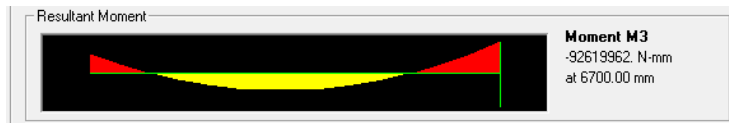
Kombinasi 1,2D+1,0L+1,0E<sub>x</sub>+0,3E<sub>y</sub>

Momen torsi = 49004,09 N.mm

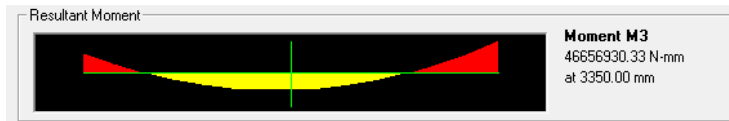
### Hasil *output* diagram momen lentur



**Gambar 4.96.** Diagram Momen Lentur Tumpuan Kiri Sloof S1 30/50



**Gambar 4.97.** Diagram Momen Lentur Tumpuan Kanan Sloof S1 30/50



**Gambar 4.98.** Diagram Momen Lentur Lapangan Sloof S1 30/50

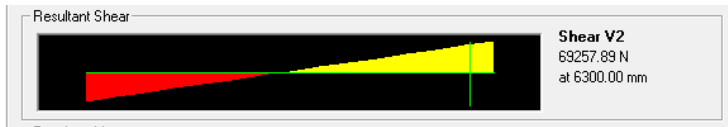
Kombinasi 1,2D+1,6L+1,0E<sub>x</sub>+0,3E<sub>y</sub>

Momen tumpuan kiri = 57728239 N.mm

Momen tumpuan kanan = 92619962 N.mm

Momen lapangan = 46656930,33 N.mm

### Hasil output diagram gaya geser



**Gambar 4.99.** Diagram Geser pada Tumpuan

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.2,  $V_u$  diambil tepat dari muka kolom sejauh 40 cm dari as kolom.

Gaya geser terfaktor  $V_u = 69257,89 \text{ N}$

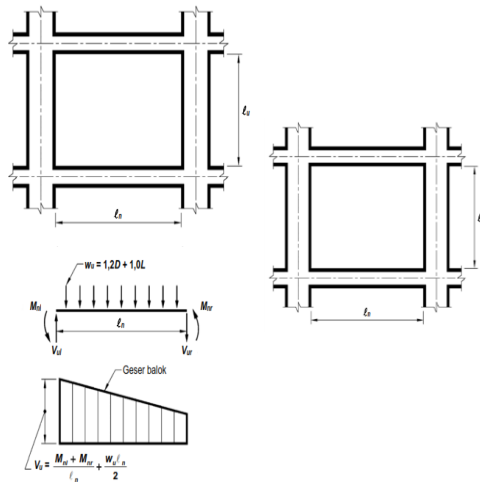
❖ Syarat gaya aksial pada balok :

Balok harus memenuhi definisi komponen struktur lentur. Detail penulangan SRPMM harus memenuhi ketentuan-ketentuan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.(2), bila beban aksial tekan terfaktor pada komponen struktur tidak melebihi  $(A_g \cdot f_c')/10$ .

$$\begin{aligned}
 A_g &= b \times h \\
 &= 300 \text{ mm} \times 500 \text{ mm} \\
 &= 150000 \text{ mm}^2 \\
 F_c' &= 30 \text{ Mpa} \\
 (A_g \cdot f_c')/10 &= ((150000) \cdot (30))/10 \\
 &= 450000 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan analisa struktur SAP 2000, gaya aksial tekan akibat kombinasi  $1,2D+1,0L+1,0E_x+0,3E_y$  pada komponen struktur sebesar  $69257,89 \text{ N} < 450000 \text{ N}$ .

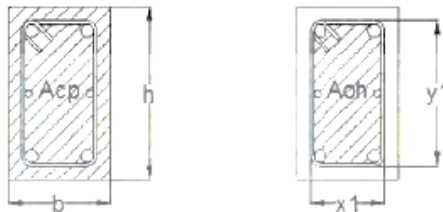
**Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3. mengenai ketentuan perhitungan penulangan balok dengan menggunakan metode sistem rangka pemikul momen menengah.**



**Gambar 4.100.** Gaya Lintang Rencana Komponen Balok pada SRPMM

**Periksa kecukupan dimensi penampang terhadap beban geser lentur dan puntir**

Ukuran penampang balok yang dipakai = 30/50



**Gambar 4.101.** Luasan  $A_{cp}$  dan  $P_{cp}$

Luasan yang dibatasi oleh keliling luar irisan penampang beton

$$\begin{aligned} A_{cp} &= b_{balok} \times h_{balok} \\ &= 300 \text{ mm} \times 500 \text{ mm} \\ &= 150000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$



Perimeter luas irisan penampang beton  $A_{cp}$ 

$$\begin{aligned}
 P_{cp} &= 2 \times (b_{balok} + h_{balok}) \\
 &= 2 \times (300 \text{ mm} + 500 \text{ mm}) \\
 &= 1600 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Luas penampang dibatasi  $A_s$  tulangan sengkang

$$\begin{aligned}
 A_{oh} &= (b_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \emptyset_{geser}) \times (h_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \emptyset_{geser}) \\
 &= (300 \text{ mm} - 2 \times 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm}) \times (500 \text{ mm} - 2 \times 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm}) \\
 &= 86100 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Keliling penampang dibatasi  $A_s$  tulangan sengkang

$$\begin{aligned}
 P_h &= 2 \times [(b_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \emptyset_{geser}) + (h_{balok} - 2 \cdot t_{decking} - \emptyset_{geser})] \\
 &= 2 \times [(300 \text{ mm} - 2 \times 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm}) + (500 \text{ mm} - 2 \times 40 \text{ mm} - 10 \text{ mm})] \\
 &= 1240 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

**4.4.5.1. Perhitungan Penulangan Torsi**

Berdasarkan hasil *output* diagram torsi pada SAP diperoleh momen puntir terbesar :

Momen puntir ultimate

Akibat kombinasi 1,2D+1,0L+1,0E<sub>x</sub>+0,3E<sub>y</sub>

$$T_u = 49004,09 \text{ N.mm}$$

$$V_u = 69257,89 \text{ N}$$

Momen puntir nominal

$$\begin{aligned}
 T_n &= T_u / \phi \\
 &= (49004,09) / 0,75 \\
 &= 65338,79 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

Pengaruh torsi dapat diabaikan bila momen puntir terfaktor  $T_u$  besarnya kurang dari pasa (SNI 03-2847:2013 pasal 11.5.1) :

$$\begin{aligned}
 T_{u \text{ min}} &= \phi \times 0,083 \times \lambda \times \sqrt{f'_c} \times (A_{cp}^2 / P_{cp}^2) \\
 &= 0,75 \times 0,083 \times 1 \times \sqrt{30} \times (150000^2 / 1600) \\
 &= 4794711,919 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

Sedangkan untuk momen puntir terfaktor maksimum  $T_u$  dapat diambil sebesar (**SNI 03-2847-2013 pasal 11.5.2.2**) :

$$\begin{aligned} T_u \max &= \phi \times 0,33 \times \lambda \times \sqrt{f_c'} \times (A_{cp}^2/P_{cp}^2) \\ &= 0,75 \times 0,33 \times 1 \times \sqrt{30} \times (150000^2/1600) \\ &= 19063312,45 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Cek pengaruh momen puntir :

Syarat :

$T_{u_{min}} > T_u$  , tidak memerlukan tulangan puntir

$T_{u_{min}} < T_u$  , memerlukan tulangan puntir

$$T_u = 49004,09 \text{ N.mm}$$

$$T_{u_{min}} = 4794711,919 \text{ N.mm}$$

$T_{u_{min}} > T_u$  , **tidak memerlukan tulangan puntir**

Jadi penampang balok tidak memerlukan penulangan puntir yang serupa sengkang-sengkang tertutup dan tulangan memanjang.

#### 4.4.5.2. Perhitungan Penulangan Lentur

##### Daerah Tumpuan Kiri

Diambil momen yang terbesar, akibat kombinasi :

$$1,2D+1,6L+1,0E_x+0,3E_y$$

Garis netral dalam kondisi *balance*

$$\begin{aligned} X_b &= (600/(600+f_y)) \times d \\ &= (600/(600+400)) \times 410,5 \\ &= 246,3 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral maksimum

$$\begin{aligned} X_{\max} &= 0,75 \times X_b \\ &= 0,75 \times 246,3 \text{ mm} \\ &= 184,725 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral minimum

$$\begin{aligned} X_{\min} &= d' \\ &= 59,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{\text{rencana}} = 150 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned} C_c' &= 0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_{\text{rencana}} \\ &= 0,85 \times 30 \times 300 \times 0,8375 \times 150 \\ &= 961031,25 \text{ N} \end{aligned}$$

Luasan tulangan tarik

$$\begin{aligned} A_{sc} &= C_c' / f_y \\ &= 961031,25 / 400 \\ &= 2402,58 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned} M_{nc} &= A_{sc} \times f_y \times (d - (\beta_1 \times X_{\text{rencana}}/2)) \\ &= 2402,58 \times 400 \times (410,5 - ((0,8375 \times 150)/2)) \\ &= 334138813,5 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Momen lentur nominal (Mn)

$$\begin{aligned} M_{\text{tump}} &= 57728239 \text{ N.mm} \\ M_n &= 57728239 \text{ N.mm} / 0,8 \\ &= 72160298,75 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0$ , maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0$ , maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned} M_{ns} &= M_n - M_{nc} \\ &= 72160298,75 - 334138813,5 \\ &= -261978514,8 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Maka,  $M_{ns} \leq 0$  (**tidak perlu tulangan lentur tekan**)

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal.

➤ **Perencanaan tulangan lentur tunggal**

Diketahui :

$$f_y = 400 \text{ Mpa}$$

$$f_c' = 30 \text{ Mpa}$$

$$\beta = 0,8375$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_{\text{balance}} = \frac{0,85 \cdot f'_c \cdot \beta}{f_y} + \frac{600}{600 + f_y}$$

$$\rho_{\text{balance}} = \frac{(0,85) \cdot (30) \cdot (0,8375)}{400} + \frac{600}{600 + 400}$$

$$= 0,653$$

$$\rho_{\max} = 0,75 \times \rho_{\text{balance}}$$

$$= 0,75 \times 0,653$$

$$= 0,0244$$

$$m = \frac{f_y}{\frac{0,85 \cdot f'_c}{400}}$$

$$= \frac{400}{0,85 \cdot (30)}$$

$$= 15,69$$

$$M_u = 57728239 \text{ N.mm}$$

$$\phi = 0,8$$

$$d = 410,5 \text{ mm}$$

$$b = 300 \text{ mm}$$

$$M_n = (M_u)/\phi$$

$$= (57728239 \text{ N.mm})/(0,8)$$

$$= 72160298,75 \text{ N.mm}$$

$$R_n = (M_n)/(b \cdot d^2)$$

$$= (72160298,75 \text{ N.mm})/((300)(410,5))$$

$$= 1,43$$

$$\rho = \frac{1}{m} \cdot \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right]$$

$$= \frac{1}{15,69} \cdot \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot (15,69) \cdot (1,43)}{400}} \right]$$

$$= 0,0037$$

$$\text{Syarat, } \rho_{\min} < \rho < \rho_{\max}$$

$$0,0035 < 0,0037 < 0,0244 \text{ (OK)}$$

$$\text{Maka } \rho = 0,0037$$

Luasan perlu tulangan lentur tarik

$$\begin{aligned}
 A_s &= \rho \times b \times d \\
 &= (0,0037) \cdot (300 \text{ mm}) \cdot (410,5 \text{ mm}) \\
 &= 455,655 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Luasan tulangan perlu lentur ditambah luasan tambahan torsi longitudinal untuk lentur :

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ perlu}} &= A_s \\
 &= 455,655 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan lentur tarik pakai (sisi atas)

$$\begin{aligned}
 n &= A_{s \text{ perlu}} / \text{Luasan D lentur} \\
 &= 455,655 / (0,25 \times \pi \times 19^2) \\
 &= 1,6 \approx 3 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan lentur 3D19

Luasan tulangan lentur Tarik pasang (sisi atas)

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ pasang}} &= n_{\text{pasang}} \times \text{luasan D lentur} \\
 &= 3 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\
 &= 850,586 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ pasang}} &\geq A_{s \text{ perlu}} \\
 850,586 \text{ mm}^2 &\geq 455,655 \text{ mm}^2 \text{ (**memenuhi**)}
 \end{aligned}$$

Luasan pasang ( $A_s'$ ) tulangan lentur tekan

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.1 luasan tulangan tidak boleh kurang dari 0,3 tulangan Tarik

$$\begin{aligned}
 A_s' &= 0,3 \times A_s \\
 &= 0,3 \times 850,586 \text{ mm}^2 \\
 &= 255,176 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan lentur tekan pakai (sisi bawah)

$$\begin{aligned}
 n &= A_{s \text{ perlu}} / \text{Luasan D lentur} \\
 &= 255,176 / (0,25 \times \pi \times 19^2) \\
 &= 0,9 \approx 2 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Luasan tulangan lentur tekan pasang (sisi bawah)

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ pasang}} &= n_{\text{pasang}} \times \text{luasan } D \text{ lentur} \\
 &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\
 &= 567,057 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol jarak spasi tulangan pakai

Syarat :

$$S_{\max} \geq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm, susun 1 lapis}$$

$$S_{\max} \leq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm, susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan dipakai tulangan tarik satu lapis 3D19 dan tulangan tekan 2D19.

Kontrol tulangan tarik

$$\begin{aligned}
 S_{\max} &= \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times \phi_{\text{geser}}) - (n \times D)}{n - 1} \\
 S_{\max} &= \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (3 \times 19)}{3 - 1} \\
 &= 71,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$S_{\max} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

$$46,5 \text{ mm} > 25 \text{ mm (memenuhi)}$$

Kontrol tulangan tekan

$$\begin{aligned}
 S_{\text{tekan}} &= \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times \phi_{\text{geser}}) - (n \times D)}{n - 1} \\
 S_{\text{tekan}} &= \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 19)}{2 - 1} \\
 &= 162 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$S_{\max} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

$$112 \text{ mm} > 25 \text{ mm (memenuhi)}$$

Maka dipakai tulangan lentur balok Tarik/sloof S1 (30/50) untuk daerah tumpuan kiri :

- Tulangan lentur tarik susun 1 lapis  
Lapis 1 = 3D19
- Tulangan lentur tekan susun 1 lapis  
Lapis 1 = 2D19

### Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok

Kuat momen lentur positif balok pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari sperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka-muka kolom di kedua ujung komponen tersebut.  $M$  lentur tumpuan (+)  $\geq 1/3 \times M$  lentur tumpuan (-).

#### [SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.(1)]

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} A_{S \text{ pasang}} &= n_{\text{pasang}} \times \text{luasan } D \text{ lentur} \\ &= 3 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\ &= 850,586 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{S' \text{ pasang}} &= n_{\text{pasang}} \times \text{luasan } D \text{ lentur} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\ &= 567,057 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$M \text{ lentur tumpuan (+)} \geq (1/3) M \text{ lentur tumpuan (-)}$$

$$567,057 \geq (1/3) 850,586$$

$$567,057 \geq 283,529 \text{ (memenuhi)}$$

Jadi pada daerah tumpuan kiri, dipasang tulangan :

$$\text{Tulangan tarik} = 3D19$$

$$\text{Tulangan tekan} = 2D19$$

### Kontrol kemampuan penampang

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \\ &= \frac{(850,59) \cdot (400)}{0,85 \times (30) \times (250)} \\ &= 53,37 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n \text{ pasang} &= A_s \cdot f_y \cdot (d - (a/2)) \\ &= (850,59) \cdot (400) \cdot (390,5 - (53,37/2)) \\ &= 123782960,3 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

$$\phi \cdot M_n \text{ pasang} = 0,8 \times 123782960,3$$

$$= 99026368,27 \text{ N.mm}$$

$$M_u \text{ perlu} = 57728239 \text{ N.mm}$$

$$\phi \cdot M_n \text{ pasang} \geq M_u \text{ perlu}$$

$$99026368,27 \text{ N.mm} \geq 57728239 \text{ N.mm} \text{ (memenuhi)}$$

Jadi penulangan lentur untuk balok Tarik S1 (30/50) pada daerah tumpuan kiri dipakai tulangan tarik 3D19 dan tulangan tekan 2D19 dengan susunan sebagai berikut :

- **Tulangan lentur tarik susun 1 lapis**

$$\text{Lapis 1} = 3\text{D19}$$

- **Tulangan lentur tekan susun 1 lapis**

$$\text{Lapis 1} = 2\text{D19}$$

**Daerah Tumpuan Kanan**

Diambil momen yang terbesar, akibat kombinasi :

$$1,2\text{D}+1,0\text{L}+1,0\text{E}_x+0,3\text{E}_y$$

**Garis netral dalam kondisi *balance***

$$\begin{aligned} X_b &= (600/(600+f_y)) \times d \\ &= (600/(600+400)) \times 410,5 \\ &= 246,3 \text{ mm} \end{aligned}$$

**Garis netral maksimum**

$$\begin{aligned} X_{\max} &= 0,75 \times X_b \\ &= 0,75 \times 246,3 \text{ mm} \\ &= 184,725 \text{ mm} \end{aligned}$$

**Garis netral minimum**

$$\begin{aligned} X_{\min} &= d' \\ &= 59,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

**Garis netral rencana (asumsi)**

$$X_{\text{rencana}} = 150 \text{ mm}$$

**Komponen beton tertekan**

$$\begin{aligned} C_c' &= 0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_{\text{rencana}} \\ &= 0,85 \times 30 \times 300 \times 0,8375 \times 150 \\ &= 961031,25 \text{ N} \end{aligned}$$



Luasan tulangan tarik

$$\begin{aligned}
 A_{sc} &= C_c' / f_y \\
 &= 961031,25 / 400 \\
 &= 2402,58 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned}
 M_{nc} &= A_{sc} \times f_y \times (d - (\beta_1 \times X_{rencana} / 2)) \\
 &= 2402,58 \times 400 \times (410,5 - ((0,8375 \times 150) / 2)) \\
 &= 334138813,5 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

Momen lentur nominal (Mn)

$$\begin{aligned}
 M_{u_{tump}} &= 92619962 \text{ N.mm} \\
 M_n &= 92619962 \text{ N.mm} / 0,8 \\
 &= 115774952,5 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0$ , maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0$ , maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned}
 M_{ns} &= M_n - M_{nc} \\
 &= 115774952,5 - 334138813,5 \\
 &= -218363861 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

Maka,  $M_{ns} \leq 0$  (**tidak perlu tulangan lentur tekan**)

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal.

➤ **Perencanaan tulangan lentur tunggal**

Diketahui :

$$f_y = 400 \text{ Mpa}$$

$$f_c' = 30 \text{ Mpa}$$

$$\beta = 0,8375$$

$$\rho_{min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_{balance} = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta}{f_y} + \frac{600}{600 + f_y}$$

$$\rho_{balance} = \frac{(0,85) \cdot (30) \cdot (0,8375)}{400} + \frac{600}{600 + 400}$$

$$\begin{aligned}
&= 0,653 \\
\rho_{\max} &= 0,75 \times \rho_{\text{balance}} \\
&= 0,75 \times 0,653 \\
&= 0,0244 \\
m &= \frac{f_y}{0,85 \cdot f'_c} \\
&= \frac{400}{0,85 \cdot (30)} \\
&= 15,69 \\
M_u &= 92619962 \text{ N.mm} \\
\phi &= 0,8 \\
d &= 410,5 \text{ mm} \\
b &= 300 \text{ mm} \\
M_n &= (M_u)/\phi \\
&= (92619962 \text{ N.mm})/(0,8) \\
&= 115774952,5 \text{ N.mm} \\
R_n &= (M_n)/(b \cdot d^2) \\
&= (115774952,5 \text{ N.mm})/((300)(410,5^2)) \\
&= 2,29 \\
\rho &= \frac{1}{m} \cdot \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right] \\
&= \frac{1}{15,69} \cdot \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot (15,69) \cdot (2,29)}{400}} \right] \\
&= 0,0061 \\
\text{Syarat, } \rho_{\min} &< \rho < \rho_{\max} \\
0,0035 &< 0,0061 < 0,0244 \text{ (OK)} \\
\text{Maka } \rho &= 0,0061
\end{aligned}$$

Luasan perlu tulangan lentur tarik

$$\begin{aligned}
A_s &= \rho \times b \times d \\
&= (0,0061) \cdot (300 \text{ mm}) \cdot (410,5 \text{ mm}) \\
&= 751,215 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

Luasan tulangan perlu lentur ditambah luasan tambahan torsi longitudinal untuk lentur :

$$A_{s \text{ perlu}} = A_s$$

$$= 751,215 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan lentur tarik pakai (sisi atas)

$$n = A_{s \text{ perlu}} / \text{Luasan D lentur}$$

$$= 751,215 / (0,25 \times \pi \times 19^2)$$

$$= 2,69 \approx 3 \text{ buah}$$

Dipasang tulangan lentur 3D19

Luasan tulangan lentur Tarik pasang (sisi atas)

$$A_{s \text{ pasang}} = n_{\text{pasang}} \times \text{luasan D lentur}$$

$$= 3 \times 0,25 \times \pi \times 19^2$$

$$= 850,586 \text{ mm}^2$$

Kontrol :

$$A_{s \text{ pasang}} \geq A_{s \text{ perlu}}$$

$$850,586 \text{ mm}^2 \geq 751,215 \text{ mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Luasan pasang ( $A_s'$ ) tulangan lentur tekan

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.1 luasan tulangan tidak boleh kurang dari 0,3 tulangan Tarik

$$A_s' = 0,3 \times A_s$$

$$= 0,3 \times 850,586 \text{ mm}^2$$

$$= 255,176 \text{ mm}^2$$

Jumlah tulangan lentur tekan pakai (sisi bawah)

$$n = A_{s \text{ perlu}} / \text{Luasan D lentur}$$

$$= 255,176 / (0,25 \times \pi \times 19^2)$$

$$= 0,9 \approx 2 \text{ buah}$$

Luasan tulangan lentur tekan pasang (sisi bawah)

$$A_{s \text{ pasang}} = n_{\text{pasang}} \times \text{luasan D lentur}$$

$$= 2 \times 0,25 \times \pi \times 19^2$$

$$= 567,057 \text{ mm}^2$$

Kontrol jarak spasi tulangan pakai

Syarat :

$$S_{\max} \geq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm, susun 1 lapis}$$

$$S_{\max} \leq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm, susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan dipakai tulangan tarik satu lapis 3D19 dan tulangan tekan 2D19.

Kontrol tulangan tarik

$$S_{\max} = \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times \phi_{\text{geser}}) - (n \times D)}{n - 1}$$

$$S_{\max} = \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (3 \times 19)}{3 - 1}$$

$$= 71,5 \text{ mm}$$

$$S_{\max} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

$$71,5 \text{ mm} > 25 \text{ mm (memenuhi)}$$

Kontrol tulangan tekan

$$S_{\text{tekan}} = \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times \phi_{\text{geser}}) - (n \times D)}{n - 1}$$

$$S_{\text{tekan}} = \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 19)}{2 - 1}$$

$$= 162 \text{ mm}$$

$$S_{\max} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

$$162 \text{ mm} > 25 \text{ mm (memenuhi)}$$

Maka dipakai tulangan lentur balok tarik S1 (25/45) untuk daerah tumpuan kanan :

- Tulangan lentur tarik susun 1 lapis  
Lapis 1 = 3D19
- Tulangan lentur tekan susun 1 lapis  
Lapis 1 = 2D19

### Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok

Kuat momen lentur positif balok pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negatif maupun

kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari sperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka-muka kolom di kedua ujung komponen tersebut.  $M$  lentur tumpuan (+)  $\geq 1/3 \times M$  lentur tumpuan (-).

**[SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.(1)]**

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= n_{\text{pasang}} \times \text{luasan } D \text{ lentur} \\ &= 3 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\ &= 850,586 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s' \text{ pasang} &= n_{\text{pasang}} \times \text{luasan } D \text{ lentur} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\ &= 567,057 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$M$  lentur tumpuan (+)  $\geq (1/3) M$  lentur tumpuan (-)

$$567,057 \geq (1/3) 850,586$$

$$567,057 \geq 283,529 \text{ (**memenuhi**)}$$

Jadi pada daerah tumpuan kiri, dipasang tulangan :

Tulangan tarik = 3D19

Tulangan tekan = 2D19

### **Kontrol kemampuan penampang**

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \\ &= \frac{(850,59) \cdot (400)}{0,85 \times (30) \times (250)} \\ &= 53,37 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n \text{ pasang} &= A_s \cdot f_y \cdot (d - (a/2)) \\ &= (850,59) \cdot (400) \cdot (390,5 - (53,37/2)) \\ &= 123782960,3 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi \cdot M_n \text{ pasang} &= 0,8 \times 123782960,3 \\ &= 99026368,27 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

$$M_u \text{ perlu} = 92619962 \text{ N.mm}$$

$$\phi \cdot M_n \text{ pasang} \geq M_u \text{ perlu}$$

$$99026368,27 \text{ N.mm} \geq 92619962 \text{ N.mm (**memenuhi**)}$$

Jadi penulangan lentur untuk balok Tarik S1 (30/50) pada daerah tumpuan kanan dipakai tulangan tarik 3D19 dan tulangan tekan 2D19 dengan susunan sebagai berikut :

- **Tulangan lentur tarik susun 1 lapis**  
Lapis 1 = 3D19
- **Tulangan lentur tekan susun 1 lapis**  
Lapis 1 = 2D19

### **Daerah Lapangan**

Diambil momen yang terbesar, akibat kombinasi :  
 $1,2D+1,0L+1,0E_x+0,3E_y$

Garis netral dalam kondisi *balance*

$$\begin{aligned} X_b &= (600/(600+f_y)) \times d \\ &= (600/(600+400)) \times 410,5 \\ &= 246,3 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral maksimum

$$\begin{aligned} X_{\max} &= 0,75 \times X_b \\ &= 0,75 \times 246,3 \text{ mm} \\ &= 184,725 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral minimum

$$\begin{aligned} X_{\min} &= d' \\ &= 59,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Garis netral rencana (asumsi)

$$X_{\text{rencana}} = 150 \text{ mm}$$

Komponen beton tertekan

$$\begin{aligned} C_c' &= 0,85 \times f_c' \times b \times \beta_1 \times X_{\text{rencana}} \\ &= 0,85 \times 30 \times 300 \times 0,8375 \times 150 \\ &= 961031,25 \text{ N} \end{aligned}$$

Luasan tulangan tarik

$$\begin{aligned} A_{sc} &= C_c' / f_y \\ &= 961031,25 / 400 \end{aligned}$$

$$= 2402,58 \text{ mm}^2$$

Momen nominal tulangan lentur tunggal

$$\begin{aligned} M_{nc} &= A_{sc} \times f_y \times (d - (\beta_1 \times X_{rencana}/2)) \\ &= 2402,58 \times 400 \times (410,5 - ((0,8375 \times 150)/2)) \\ &= 334138813,5 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Momen lentur nominal (Mn)

$$\begin{aligned} M_{u\text{lap}} &= 46656930,33 \text{ N.mm} \\ M_n &= 46656930,33 \text{ N.mm}/0,8 \\ &= 58321162,91 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Cek momen nominal tulangan lentur rangkap

Syarat :

$M_{ns} > 0$ , maka perlu tulangan lentur tekan

$M_{ns} \leq 0$ , maka tidak perlu tulangan lentur tekan

$$\begin{aligned} M_{ns} &= M_n - M_{nc} \\ &= 58321162,91 - 334138813,5 \\ &= -275817650,6 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Maka,  $M_{ns} \leq 0$  (**tidak perlu tulangan lentur tekan**)

Sehingga untuk analisis selanjutnya digunakan perhitungan penulangan lentur tunggal.

➤ **Perencanaan tulangan lentur tunggal**

Diketahui :

$$f_y = 400 \text{ Mpa}$$

$$f_c' = 30 \text{ Mpa}$$

$$\beta = 0,8375$$

$$\rho_{\min} = \frac{1,4}{f_y} = \frac{1,4}{400} = 0,0035$$

$$\rho_{\text{balance}} = \frac{0,85 \cdot f_c' \cdot \beta}{f_y} + \frac{600}{600 + f_y}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{balance}} &= \frac{(0,85) \cdot (30) \cdot (0,8375)}{400} + \frac{600}{600 + 400} \\ &= 0,653 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\max} &= 0,75 \times \rho_{\text{balance}} \\ &= 0,75 \times 0,653 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 0,0244 \\
m &= \frac{f_y}{\frac{0,85 \cdot f'_c}{400}} \\
&= \frac{0,85 \cdot (30)}{400} \\
&= 15,69 \\
M_u &= 46656930,33 \text{ N.mm} \\
\phi &= 0,8 \\
d &= 410,5 \text{ mm} \\
b &= 300 \text{ mm} \\
M_n &= (M_u)/\phi \\
&= (46656930,33 \text{ N.mm})/(0,8) \\
&= 58321162,91 \text{ N.mm} \\
R_n &= (M_n)/(b \cdot d^2) \\
&= (58321162,91 \text{ N.mm})/((300)(410,5^2)) \\
&= 1,15 \\
\rho &= \frac{1}{m} \cdot \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R_n}{f_y}} \right] \\
&= \frac{1}{15,69} \cdot \left[ 1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot (15,69) \cdot (1,15)}{400}} \right] \\
&= 0,0029 \\
\text{Syarat, } \rho_{\min} &< \rho < \rho_{\max} \\
0,0035 &< 0,0029 < 0,0244 \text{ (OK)} \\
\text{Maka } \rho &= 0,0029
\end{aligned}$$

Luasan perlu tulangan lentur tarik

$$\begin{aligned}
A_s &= \rho \times b \times d \\
&= (0,0029) \cdot (300 \text{ mm}) \cdot (410,5 \text{ mm}) \\
&= 357,135 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

Luasan tulangan perlu lentur ditambah luasan tambahan torsi longitudinal untuk lentur :

$$\begin{aligned}
A_{s \text{ perlu}} &= A_s \\
&= 357,135 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$



Jumlah tulangan lentur tarik pakai (sisi atas)

$$\begin{aligned}
 n &= A_{s \text{ perlu}} / \text{Luasan D lentur} \\
 &= 357,135 / (0,25 \times \pi \times 19^2) \\
 &= 1,25 \approx 3 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Dipasang tulangan lentur 3D19

Luasan tulangan lentur Tarik pasang (sisi atas)

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ pasang}} &= n_{\text{pasang}} \times \text{luasan D lentur} \\
 &= 3 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\
 &= 850,586 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol :

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ pasang}} &\geq A_{s \text{ perlu}} \\
 850,586 \text{ mm}^2 &\geq 455,655 \text{ mm}^2 \text{ (**memenuhi**)}
 \end{aligned}$$

Luasan pasang ( $A_s'$ ) tulangan lentur tekan

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.1 luasan tulangan tidak boleh kurang dari 0,3 tulangan Tarik

$$\begin{aligned}
 A_{s'} &= 0,3 \times A_s \\
 &= 0,3 \times 850,586 \text{ mm}^2 \\
 &= 255,176 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan lentur tekan pakai (sisi bawah)

$$\begin{aligned}
 n &= A_{s \text{ perlu}} / \text{Luasan D lentur} \\
 &= 255,176 / (0,25 \times \pi \times 19^2) \\
 &= 0,9 \approx 2 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Luasan tulangan lentur tekan pasang (sisi bawah)

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ pasang}} &= n_{\text{pasang}} \times \text{luasan D lentur} \\
 &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\
 &= 567,057 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol jarak spasi tulangan pakai

Syarat :

$$S_{\max} \geq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm, susun 1 lapis}$$

$$S_{\max} \leq S_{\text{sejajar}} = 25 \text{ mm, susun lebih dari 1 lapis}$$

Direncanakan dipakai tulangan tarik satu lapis 3D19 dan tulangan tekan 2D19.

Kontrol tulangan tarik

$$S_{\max} = \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times \phi_{\text{geser}}) - (n \times D)}{n - 1}$$

$$S_{\max} = \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (3 \times 19)}{3 - 1}$$

$$= 71,5 \text{ mm}$$

$$S_{\max} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

$$46,5 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \text{ (**memenuhi**)}$$

Kontrol tulangan tekan

$$S_{\text{tekan}} = \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times \phi_{\text{geser}}) - (n \times D)}{n - 1}$$

$$S_{\text{tekan}} = \frac{300 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (2 \times 19)}{2 - 1}$$

$$= 162 \text{ mm}$$

$$S_{\max} \geq S_{\text{syarat agregat}}$$

$$112 \text{ mm} > 25 \text{ mm} \text{ (**memenuhi**)}$$

Maka dipakai tulangan lentur balok Tarik/sloof S1 (30/50) untuk daerah tumpuan kiri :

- Tulangan lentur tarik susun 1 lapis  
Lapis 1 = 3D19
- Tulangan lentur tekan susun 1 lapis  
Lapis 1 = 2D19

### **Cek syarat SRPMM untuk kekuatan lentur pada balok**

Kuat momen lentur positif balok pada muka kolom tidak boleh lebih kecil dari sepertiga kuat momen lentur negatif balok pada muka kolom. Baik kuat lentur negatif maupun kuat lentur positif pada setiap irisan penampang di sepanjang bentang tidak boleh kurang dari sperlima kuat lentur yang terbesar yang disediakan pada kedua muka-

muka kolom di kedua ujung komponen tersebut.  $M$  lentur tumpuan (+)  $\geq 1/3 \times M$  lentur tumpuan (-).

[SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.(1)]

Maka berdasarkan pengecekan ini dilakukan dengan meninjau tulangan pasang.

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= n_{\text{pasang}} \times \text{luasan } D \text{ lentur} \\ &= 3 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\ &= 850,586 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_s' \text{ pasang} &= n_{\text{pasang}} \times \text{luasan } D \text{ lentur} \\ &= 2 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\ &= 567,057 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$M$  lentur tumpuan (+)  $\geq (1/3) M$  lentur tumpuan (-)

$$567,057 \geq (1/3) 850,586$$

$$567,057 \geq 283,529 \text{ (memenuhi)}$$

Jadi pada daerah tumpuan kiri, dipasang tulangan :

Tulangan tarik = 3D19

Tulangan tekan = 2D19

### Kontrol kemampuan penampang

$$\begin{aligned} a &= \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \\ &= \frac{(850,59) \cdot (400)}{0,85 \times (30) \times (250)} \\ &= 53,37 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_n \text{ pasang} &= A_s \cdot f_y \cdot (d - (a/2)) \\ &= (850,59) \cdot (400) \cdot (390,5 - (53,37/2)) \\ &= 123782960,3 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi \cdot M_n \text{ pasang} &= 0,8 \times 123782960,3 \\ &= 99026368,27 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

$$M_u \text{ perlu} = 57728239 \text{ N.mm}$$

$$\phi \cdot M_n \text{ pasang} \geq M_u \text{ perlu}$$

$$99026368,27 \text{ N.mm} \geq 57728239 \text{ N.mm (memenuhi)}$$

Jadi penulangan lentur untuk balok Tarik S1 (30/50) pada daerah lapangan dipakai tulangan tarik 3D19 dan tulangan tekan 2D19 dengan susunan sebagai berikut :

- **Tulangan lentur tarik susun 1 lapis**  
Lapis 1 = 3D19
- **Tulangan lentur tekan susun 1 lapis**  
Lapis 1 = 2D19

#### 4.4.5.3. Perhitungan Penulangan Geser

Tipe balok : S1 (30/50)

Dimensi balok (b) : 300 mm

Dimensi balok (h) : 500 mm

Kuat tekan beton ( $f'_c$ ) : 30 Mpa

Kuat leleh tulangan geser ( $f_{yv}$ ) : 320 Mpa

Diameter tulangan geser ( $\emptyset$ ) : 10 mm

$\beta_1$  : 0,8375

Faktor reduksi kekuatan geser : 0,75

Berdasarkan perhitungan tulangan lentur pada sloof S1 (30/50) elevasi +0,00, didapat :

##### *Momen Nominal Kiri*

Momen nominal kiri diperoleh dari hasil perhitungan tulangan lentur tumpuan kiri dengan luasan tulangan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \times f'_c \times b} \\
 &= \frac{(850,59) \cdot (400)}{0,85 \times (30) \times (250)} \\
 &= 53,37 \text{ mm} \\
 M_n \text{ pasang} &= A_s \cdot f_y \cdot (d - (a/2)) \\
 &= (850,59) \cdot (400) \cdot (390,5 - (53,37/2)) \\
 &= 123782960,3 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

##### *Momen Nominal Kanan*

Momen nominal kanan diperoleh dari hasil perhitungan tulangan lentur tumpuan kanan dengan luasan tulangan sebagai berikut :

$$a = \frac{A_s \cdot f_y}{0,85 \times f'_c \times b}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{(850,59) \cdot (400)}{0,85 \times (30) \times (250)} \\
 &= 53,37 \text{ mm} \\
 M_n \text{ pasang} &= A_s \cdot f_y \cdot (d - (a/2)) \\
 &= (850,59) \cdot (400) \cdot (390,5 - (53,37/2)) \\
 &= 123782960,3 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil *output* dan diagram gaya dalam akibat kombinasi  $1,2D+1,6L+1,0E_X+0,3E_Y$  dari analisa SAP 2000 didapatkan :

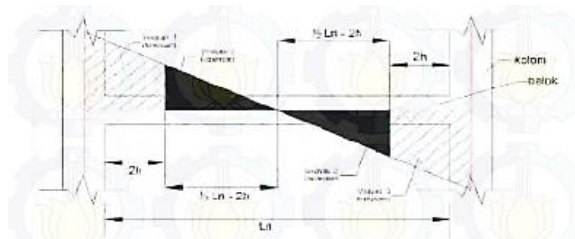
Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.2,  $V_u$  diambil tepat dari muka kolom :

Gaya geser terfaktor  $V_u = 69257,89 \text{ N}$

#### Pembagian Wilayah Geser Balok

Dalam perhitungan tulangan geser (senggang) pada balok, wilayah balok dibagi menjadi 3 wilayah yaitu :

- Wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan), sejarak dua kali tinggi balok dari muka kolom ke arah tengah bentang (**SNI 03-2847-2013 Pasal 21.3.4.2**)
- Wilayah 2 (daerah lapangan), dimulai dari wilayah 1 atau 3 ke  $\frac{1}{2}$  bentang balok.



**Gambar 4.102.** Pembagian Wilayah Geser pada Balok

$$\sqrt{f'_c} < (25/3)$$

$$\sqrt{30} < 8,33$$

$$5,477 < 8,33 \text{ (memenuhi)}$$

Kuat geser beton (SNI 03-2847-2013 Pasal 11.2.1.1)

$$V_c = 0,17 \times \sqrt{f'_c} \times b \times d$$

$$= 0,17 \times \sqrt{30} \times 300 \times 410,5$$

$$= 114668,5 \text{ N}$$

Kuat geser tulangan geser

$$V_{S \text{ min}} = 0,33 \times b \times d$$

$$= 0,33 \times 300 \times 410,5$$

$$= 40639,5 \text{ N}$$

$$V_{S \text{ max}} = 0,33 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d$$

$$= 0,33 \times \sqrt{30} \times 300 \times 410,5$$

$$= 105014,846 \text{ N}$$

2.  $V_{S \text{ max}} = 0,66 \times \sqrt{f_c'} \times b \times d$

$$= 0,66 \times \sqrt{30} \times 300 \times 410,5$$

$$= 445183,418 \text{ N}$$

Penulangan geser balok

1. Pada wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan)

Gaya geser diperoleh dari :

$$V_{u1} = \frac{M_{nl} + M_{nr}}{L_n} + \frac{W_u \times L_n}{2}$$

$$V_{u1} = \frac{M_{nl} + M_{nr}}{L_n} + V_u$$

**(SNI 03-2847-2013 pasal 21.3)**

Dimana :

$V_{U1}$  = Gaya geser pada muka perletakan

$M_{nl}$  = Momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kiri)

$M_{nr}$  = Momen nominal aktual balok daerah tumpuan (kanan)

$L_n$  = Panjang balok

Maka :

$$V_{u1} = \frac{123782960,3 + 123782960,3}{6700} + 69257,89$$

$$= 76208,0274 \text{ N}$$

Kondisi 1

$V_U \leq 0,5 \phi V_C$ , tidak perlu tulangan geser

$$V_U = 76208,0274 \text{ N}$$

$$0,5 \cdot \phi \cdot V_C = 0,5 \cdot (0,75) \cdot (114668,5)$$

$$= 43000,69 \text{ N}$$

$$76208,0274 \text{ N} > 43000,69 \text{ N} \text{ (**Tidak memenuhi**)}$$

### Kondisi 2

$$0,5 \varphi V_C \leq V_U \leq \varphi V_C, \text{ tulangan geser}$$

$$0,5 \cdot \varphi \cdot V_C = 0,5 \cdot (0,75) \cdot (114668,5)$$

$$= 43000,69 \text{ N}$$

$$\varphi \cdot V_C = (0,75) \cdot (114668,5)$$

$$= 86001,4 \text{ N}$$

$$V_U = 76208,0274 \text{ N}$$

$$43000,69 \text{ N} \leq 76208,0274 \text{ N} < 86001,4 \text{ N}$$

**(memenuhi)**

Maka direncanakan penulangan geser balok diambil berdasarkan **kondisi 2**.

$$V_{S \text{ perlu}} = 76208,0274 \text{ N}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser Ø10 mm dengan 2 kaki, maka luasan tulangan geser :

$$A_v = (0,25 \times \pi \times \emptyset^2) \times n_{\text{kaki}}$$

$$= 0,25 \times \pi \times 10^2 \times 2$$

$$= 157,88 \text{ mm}^2$$

### Jarak tulangan geser perlu ( $S_{\text{perlu}}$ )

$$\begin{aligned} S_{\text{perlu}} &= \frac{A_v \times f_{yv} \times d}{V_{S \text{ perlu}}} \\ &= \frac{(157,88) \times (320) \times (410,5)}{76208,0274} \\ &= 272,138 \text{ mm} \end{aligned}$$

Maka dipasang jarak 200 mm antar tulangan geser.

### Kontrol jarak spasi tulangan geser berdasarkan kondisi 2

$$S_{\text{max}} < (d/2) \text{ atau } S_{\text{max}} < 600 \text{ mm}$$

$$- 200 \text{ mm} < (410,5/2)$$

$$200 \text{ mm} < 205,25 \text{ mm} \text{ (**memenuhi**)}$$

$$- 200 \text{ mm} < 600 \text{ (**memenuhi**)}$$

**Cek persyaratan SRPMM untuk kekuatan geser balok**

Pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus dipasang sengkang sepanjang jarak dua kali komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama dipasang pada jarak tidak lebih dari 50 mm dari muka perletakan.

Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi :

- a.  $d/4$
- b. delapan kali diameter tulangan longitudinal
- c. 24 kali diameter sengkang
- d. 300 mm

**(SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.(2))**

$$S_{\text{pakai}} < (d/4)$$

$$200 \text{ mm} < (410,5/4) \text{ mm}$$

$$200 \text{ mm} > 102,625 \text{ mm} \text{ (**Tidak memenuhi**)}$$

$$S_{\text{pakai}} < 8.D_{\text{lentur}}$$

$$200 \text{ mm} < 8.(19) \text{ mm}$$

$$200 \text{ mm} < 152 \text{ mm} \text{ (**Tidak memenuhi**)}$$

$$S_{\text{pakai}} < 24.\phi_{\text{sengkang}}$$

$$200 \text{ mm} < 24.(10) \text{ mm}$$

$$200 \text{ mm} < 240 \text{ mm} \text{ (**memenuhi**)}$$

$$S_{\text{pakai}} < 300 \text{ mm}$$

$$200 \text{ mm} < 300 \text{ mm} \text{ (**memenuhi**)}$$

**Jadi, penulangan geser balok untuk sloof S1 (30/50) pada wilayah 1 dan 3 (daerah tumpuan) dipasang Ø10-200 dengan sengkang 2 kaki.**

2. Pada wilayah 2 (daerah lapangan)

Gaya geser pada wilayah 2 diperoleh dengan menggunakan metode perbandingan segitiga, dengan perhitungan sebagai berikut :

$$\frac{V_{u2}}{\frac{1}{2} \cdot L_n - 2 \cdot h} = \frac{V_{u1}}{\frac{1}{2} \cdot L_n}$$



$$\begin{aligned}
 V_{u2} &= \frac{V_{u1} \times \left( \frac{1}{2} \cdot L_n - 2 \cdot h \right)}{\frac{1}{2} \cdot L_n} \\
 &= \frac{(76208,0274) \times \left( \frac{1}{2} \cdot (6700) - 2 \cdot (500) \right)}{\frac{1}{2} \cdot (6700)} \\
 &= 53459,36 \text{ N}
 \end{aligned}$$

#### Kondisi 1

$V_U \leq 0,5 \phi V_C$ , tidak perlu tulangan geser

$$V_U = 53459,36 \text{ N}$$

$$0,5 \cdot \phi \cdot V_C = 0,5 \cdot (0,75) \cdot (114668,5)$$

$$= 43000,69 \text{ N}$$

$$53459,36 \text{ N} > 43000,69 \text{ N} \text{ (**Tidak memenuhi**)}$$

#### Kondisi 2

$0,5 \phi V_C \leq V_U \leq \phi \cdot V_C$ , tulangan geser

$$0,5 \cdot \phi \cdot V_C = 0,5 \cdot (0,75) \cdot (114668,5)$$

$$= 43000,69 \text{ N}$$

$$\phi \cdot V_C = (0,75) \cdot (114668,5)$$

$$= 86001,4 \text{ N}$$

$$V_U = 53459,36 \text{ N}$$

$$43000,69 \text{ N} \leq 53459,36 \text{ N} < 86001,4 \text{ N} \text{ (**memenuhi**)}$$

Maka perencanaan kondisi penulangan geser balok diambil berdasarkan **kondisi 2**.

$$V_{s \text{ perlu}} = 53459,36 \text{ N}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser Ø10 mm dengan 2 kaki, maka luasan tulangan geser :

$$A_v = (0,25 \times \pi \times \varnothing^2) \times n_{\text{kaki}}$$

$$= 0,25 \times \pi \times 10^2 \times 2$$

$$= 157,88 \text{ mm}^2$$

#### Jarak tulangan geser perlu ( $S_{\text{perlu}}$ )

$$S_{\text{perlu}} = \frac{A_v \times f_{yv} \times d}{V_{s \text{ perlu}}}$$

$$= \frac{(157,88) \times (320) \times (410,5)}{53459,36}$$

$$= 2400,4 \text{ mm}$$

$$= 272,138 \text{ mm}$$

Maka dipasang jarak 200 mm antar tulangan geser.

Kontrol jarak spasi tulangan geser berdasarkan kondisi 2.

$$S_{\max} < (d/2) \text{ atau } S_{\max} < 600 \text{ mm}$$

- $200 \text{ mm} < (410,5/2)$
- $200 \text{ mm} < 205,25 \text{ mm}$  (**memenuhi**)
- $200 \text{ mm} < 600$  (**memenuhi**)

### **Cek persyaratan SRPMM untuk kekuatan geser balok**

Pada kedua ujung komponen struktur lentur tersebut harus dipasang sengkang sepanjang jarak dua kali komponen struktur diukur dari muka perletakan ke arah tengah bentang. Sengkang pertama dipasang pada jarak tidak lebih dari 50 mm dari muka perletakan.

Spasi maksimum sengkang tidak boleh melebihi :

- a.  $d/4$
- b. delapan kali diameter tulangan longitudinal
- c. 24 kali diameter sengkang
- d. 300 mm

**(SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.4.(2))**

$$S_{\text{pakai}} < (d/4)$$

$$200 \text{ mm} < (410,5/4) \text{ mm}$$

$$200 \text{ mm} > 102,625 \text{ mm} \text{ (**Tidak memenuhi**)}$$

$$S_{\text{pakai}} < 8.D_{\text{lentur}}$$

$$200 \text{ mm} < 8.(19) \text{ mm}$$

$$200 \text{ mm} < 152 \text{ mm} \text{ (**Tidak memenuhi**)}$$

$$S_{\text{pakai}} < 24.\phi_{\text{sengkang}}$$

$$200 \text{ mm} < 24.(10) \text{ mm}$$

$$200 \text{ mm} < 240 \text{ mm} \text{ (**memenuhi**)}$$

$$S_{\text{pakai}} < 300 \text{ mm}$$

$$200 \text{ mm} < 300 \text{ mm} \text{ (**memenuhi**)}$$

**Jadi, penulangan geser balok untuk balok S1 (25/45) pada wilayah 2 (daerah lapangan) dipasang Ø10-200 dengan sengkang 2 kaki.**

#### 4.4.5.4. Perhitungan Panjang Penyaluran

Gaya tarik dan tekan pada tulangan di setiap penampang komponen struktur beton bertulangan harus disalurkan pada masing-masing penampang melalui penyaluran tulangan. Adapun perhitungan penyaluran tulangan berdasarkan **SNI 03-2847-2013 pasal 12.**

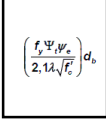
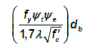
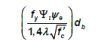
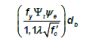
- Penyaluran tulangan dalam kondisi tarik

Penyaluran tulangan dalam kondisi tarik dihitung berdasarkan **SNI 03-2847-2013 pasal 12.2**

Panjang penyaluran untuk batang ulir dan kawat dalam kondisi tarik tidak boleh kurang dari 300 mm.

**(SNI 03-2847-2013 pasal 12.2.1)**

Untuk panjang penyaluran batang ulir dan kawat ulir dapat dihitung berdasarkan **SNI 03-2847-2013 tabel pada pasal 12.2** sebagai berikut.

	Batang tulangan atau kawat ulir D-19 dan yang lebih kecil	Batang tulangan D-22 dan yang lebih besar
Spasi bersih batang tulangan atau kawat yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari $d_b$ , selimut bersih tidak kurang dari $d_b$ , dan sengkang atau pengikat sepanjang $\ell_d$ tidak kurang dari minimum Tata Cara atau Spasi bersih batang tulangan atau kawat yang disalurkan atau disambung tidak kurang dari $2d_b$ dan selimut bersih tidak kurang dari $d_b$		
Kasus-kasus lain		

**Gambar 4.103.** Panjang Penyaluran Batang Ulir dan Kawat Ulir

Dimana,

$\lambda_d$  = panjang penyaluran tulangan kondisi Tarik

$d_b$  = diameter tulangan lentur yang dipakai

$\Psi_t$  = faktor lokasi penulangan

$\Psi_e$  = faktor pelapis

dimana nilai dari masing-masing faktor :

$\lambda$  = 1,0 (untuk beton berat normal)

$\psi_t = 1,3$  (beton segar dicor di bawah panjang penyaluran atau sambungan)

$\psi_e = 1,0$  (untuk tulangan tidak dilapisi dan dilapisi bahan seng/ digalvanis)

$d_b = 19 \text{ mm}$

### Perhitungan

$$\begin{aligned}\lambda_d &= \frac{f_y \cdot \psi_t \cdot \psi_e}{2,1 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c}} \cdot d_b \\ &= \frac{(400) \cdot (1,3) \cdot (1,0)}{2,1 \cdot (1,0) \cdot \sqrt{300}} \cdot (19) \\ &= 858,968 \text{ mm}\end{aligned}$$

Syarat :

$\lambda_d > 300 \text{ mm}$

$858,968 \text{ mm} > 300 \text{ mm}$  (**memenuhi**)

1. Reduksi panjang penyaluran tulangan balok tumpuan kiri (tulangan lebih) :

$$\begin{aligned}\lambda_{\text{reduksi}} &= \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ pasang}} \cdot \lambda_d \\ &= \frac{750,282}{850,586} \cdot (858,968) \\ &= 757,676 \text{ mm} \\ &\approx 800 \text{ mm}\end{aligned}$$

Maka panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tarik di daerah tumpuan kiri 800 mm.

2. Reduksi panjang penyaluran tulangan balok tumpuan kanan (tulangan lebih) :

$$\begin{aligned}\lambda_{\text{reduksi}} &= \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ pasang}} \cdot \lambda_d \\ &= \frac{993,378}{1134,115} \cdot (858,968) \\ &= 752,375 \text{ mm} \\ &\approx 800 \text{ mm}\end{aligned}$$

Maka panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tarik di daerah tumpuan kanan 800 mm.

3. Reduksi panjang penyaluran tulangan balok lapangan (tulangan lebih) :

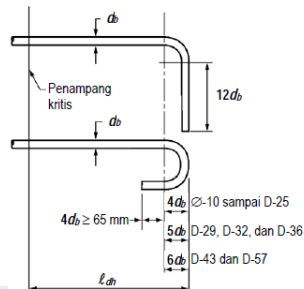
$$\begin{aligned}\lambda_{\text{reduksi}} &= \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ pasang}} \cdot \lambda_d \\ &= \frac{255,176}{567,057} \cdot (585,968) \\ &= 263,685 \text{ mm} \\ &\approx 300 \text{ mm}\end{aligned}$$

Maka panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tarik di daerah lapangan 300 mm.

- Penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik  
Penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tarik dihitung berdasarkan **SNI 03-2847-2013 pasal 12.5**. Panjang penyaluran tulangan berkait dalam kondisi Tarik tidak boleh kurang dari 150 mm.

**(SNI 03-2847-2013 pasal 12.5.1)**

Berdasarkan SNI 03-1847-2013 pasal 12.5.2. Untuk batang tulangan ulir  $\lambda_d$  harus sebesar  $(0,24 \cdot \psi_e \cdot f_y / \lambda \cdot \sqrt{f_c'}) / d_b$  dengan  $\psi_e$  diambil sebesar 1,2 untuk tulangan dilapisi epoksi, dan  $\lambda$  diambil 0,75 untuk beton ringan. Untuk kasus lainnya,  $\psi_e$  dan  $\lambda$  harus diambil sebesar 1,0.



**Gambar 4.104.** Detail Batang Tulangan Berkait untuk Penyaluran Kait Standart

$$\lambda_{dh} = \frac{0,24 \cdot \psi_e \cdot f_y}{\lambda \cdot \sqrt{f'_c}} \times db$$

$$\lambda_{dh} = \frac{0,24 \times 1,0 \times 400}{1,0 \sqrt{30}} \times 19$$

$$= 346,891 \text{ mm}$$

Syarat :  $\lambda_{dh} > 150 \text{ mm}$

346,891 mm > 150 mm (**memenuhi**)

1. Reduksi panjang penyaluran tulangan balok tumpuan kiri (tulangan lebih) :

$$\lambda_{reduksi} = \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ pasang}} \cdot \lambda_d$$

$$= \frac{750,282}{850,586} \cdot (346,891)$$

$$= 306,207 \text{ mm}$$

$$\approx 350 \text{ mm}$$

Maka panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tarik di tumpuan kiri 350 mm.

2. Reduksi panjang penyaluran tulangan balok tumpuan kanan (tulangan lebih) :

$$\lambda_{reduksi} = \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ pasang}} \cdot \lambda_d$$

$$= \frac{993,378}{1134,115} \cdot (346,891)$$

$$= 303,844 \text{ mm}$$

$$\approx 350 \text{ mm}$$

Maka panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tarik di tumpuan kanan 350 mm.

3. Reduksi panjang penyaluran tulangan balok lapangan (tulangan lebih) :

$$\lambda_{reduksi} = \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ pasang}} \cdot \lambda_d$$

$$= \frac{255,176}{567,057} \cdot (346,891)$$

$$= 156,101 \text{ mm}$$

$$\approx 200 \text{ mm}$$

Maka panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tarik di lapangan 200 mm.

Panjang kait

$$12.d_b = 12.(19) \\ = 228 \text{ mm}$$

- Penyaluran tulangan berkait dalam kondisi tekan  
Penyaluran tulangan dalam kondisi tekan dihitung berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 12.3.  
Panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tekan tidak boleh kurang dari 200 mm.

**(SNI 03-2847-2013 pasal 12.3.1)**

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 12.3.2 panjang penyaluran diambil terbesar dari :

$$\lambda_{dc} = \frac{0,24 \cdot f_y}{\lambda \cdot \sqrt{f'_c}} \times d_b \\ \lambda_{dc} = \frac{0,24 \cdot (400)}{1,0 \sqrt{30}} \times 19 \\ \lambda_{dc} = 333,02 \text{ mm} \dots\dots\dots(1)$$

$$\lambda_{dc} = (0,043 \times f_y) \times d_b \\ \lambda_{dc} = (0,043 \times 400) \times 19 \\ \lambda_{dc} = 326,80 \text{ mm} \dots\dots\dots(2)$$

Diambil 333,02 mm

Reduksi panjang penyaluran (tulangan lebih) :

$$\lambda_{reduksi} = \frac{A_s \text{ perlu}}{A_s \text{ pasang}} \cdot \lambda_d \\ = \frac{255,176}{567,057} \cdot (333,02) \\ = 149,859 \text{ mm} \\ \approx 150 \text{ mm}$$

Maka panjang penyaluran tulangan dalam kondisi tekan 150 mm.

Panjang kait :

$$4d_b + 4d_b = 4(19) + 4(19) \\ = 152 \text{ mm}$$

## 4.5. Perhitungan Kolom

### 4.5.1. Perhitungan Kolom K1

Berikut ini akan dibahas perhitungan penulangan kolom berdasarkan  $P_U$  ultimate terbesar, sebagai contoh perhitungan diambil kolom struktur As B-4 pada lantai 1. Perhitungan berikut disertai dengan data perencanaan, gambar denah kolom, *output* SAP 2000, ketentuan perhitungan, dan syarat-syarat penulangan kolom dengan metode SRPMM, sampai dengan hasil akhir gambar penampang kolom adalah sebagai berikut :

#### 4.5.1.1. Perhitungan Penulangan Lentur Kolom K1

❖ Data perencanaan kolom :

Tipe kolom	: K1
As kolom	: B - 4
Frame	: 1433
Tinggi kolom atas	: 3570 mm
Tinggi kolom pendek	: 1400 mm
B kolom	: 400 mm
H kolom	: 400 mm
Kuat tekan beton ( $f_c'$ )	: 30 Mpa
Modulus elastis beton ( $E_c$ )	: $4700\sqrt{f_c'}$ Mpa
Modulus elastis baja ( $E_s$ )	: 200000 Mpa
Kuat leleh tul.lentur ( $f_y$ lentur)	: 400 Mpa
Kuat leleh tul.geser ( $f_y$ geser)	: 320 Mpa
Diameter tulangan lentur (D lentur)	: 19 mm
Diameter tulangan geser ( $\emptyset$ geser)	: 10 mm
Jarak spasi tulangan sejajar	: 40 mm
<b>(SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.3)</b>	
Tebal selimut beton ( $t_{decking}$ )	: 40 mm
<b>(SNI 03-2847-2013 pasal 7.7.1)</b>	
Faktor $\beta_1$	: 0,85
<b>(SNI 03-2847-2013 pasal 10.2.7.(1))</b>	
Faktor reduksi kekuatan lentur	: 0,65
<b>(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(2))</b>	



Faktor reduksi kekuatan geser : 0,75

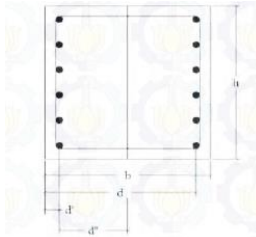
(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(3))

Maka tinggi efektif kolom :

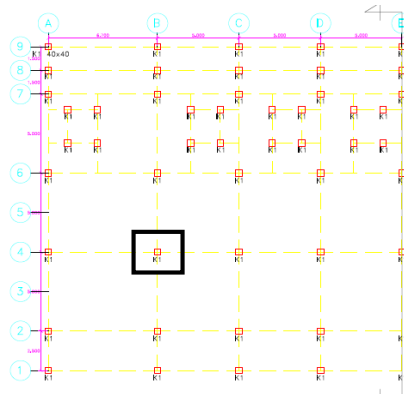
$$\begin{aligned} d &= b - \text{decking} - \varnothing \text{ sengkang} - \frac{1}{2} D. \text{tul. lentur} \\ &= (450 - 40 - 10 - \frac{1}{2} \cdot 19) \text{ mm} \\ &= 390,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d' &= \text{decking} + \varnothing \text{ sengkang} + \frac{1}{2} D. \text{tul. lentur} \\ &= 40 \text{ mm} + 10 \text{ mm} + \frac{1}{2} \cdot 19 \text{ mm} \\ &= 59,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d'' &= b - \text{decking} - \varnothing \text{ sengkang} - \frac{1}{2} D. \text{tul. lentur} - \frac{1}{2} b \\ &= (450 - 40 - 10 - \frac{1}{2} (19) - \frac{1}{2} 450) \text{ mm} \\ &= 165,5 \text{ mm} \end{aligned}$$



**Gambar 4.105. Tinggi Efektif Kolom**



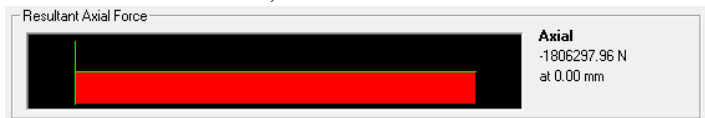
**Gambar 4.106. Denah Kolom yang Ditinjau**

Berdasarkan hasil *output* SAP 2000 frame 1433 didapatkan gaya aksial kolom :



**Gambar 4.107.** Gaya Aksial Kolom Kombinasi Beban  
1,2D

$$P_u = 10337434,4 \text{ N}$$



**Gambar 4.108.** Gaya Aksial Kolom Kombinasi Beban  
1,2D+1,6L+0,5Lr

$$P_u = 1806297,96 \text{ N}$$



**Gambar 4.109.** Gaya Aksial Kolom Kombinasi Beban  
1,2D+1,0L+1,0E<sub>x</sub>+0,3E<sub>y</sub>

$$P_u = 1522072,53 \text{ N}$$

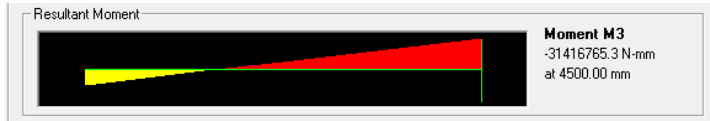


**Gambar 4.110.** Gaya Aksial Kolom Kombinasi Beban  
1,2D+1,0L+0,3E<sub>x</sub>+1,0E<sub>y</sub>

$$P_u = 1518376,99 \text{ N}$$

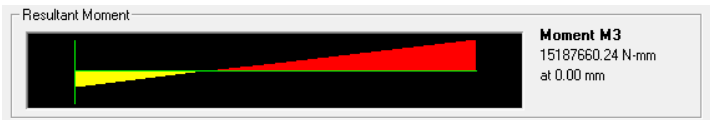
Momen akibat pengaruh beban gravitasi akibat beban kombinasi 1,2D+1,6L+0,5Lr

### Momen arah sumbu X



**Gambar 4.111.** Momen Arah Sumbu X Kombinasi Beban  
1,2D+1,6L+0,5Lr

$$M_{2ns} = 31416765,3 \text{ N.mm}$$



**Gambar 4.112.** Momen Arah Sumbu X Kombinasi Beban  
1,2D+1,6L+0,5Lr

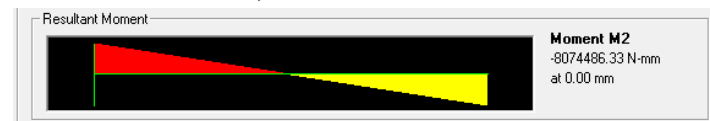
$$M_{1ns} = 15187660,24 \text{ N.mm}$$

### Momen arah sumbu Y



**Gambar 4.113.** Momen Arah Sumbu Y Kombinasi Beban  
1,2D+1,6L+0,5Lr

$$M_{2ns} = 8096474,84 \text{ N.mm}$$



**Gambar 4.114.** Momen Arah Sumbu Y Kombinasi Beban  
1,2D+1,6L+0,5Lr

$$M_{1ns} = 8074486,33 \text{ N.mm}$$

Momen akibat pengaruh beban gravitasi :

$M_{1ns}$  = adalah nilai yang lebih kecil dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang tidak menimbulkan goyangan ke samping

(SNI 03-2847-2013)

$M_{2ns}$  = adalah nilai yang lebih besar dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang tidak menimbulkan goyangan ke samping.

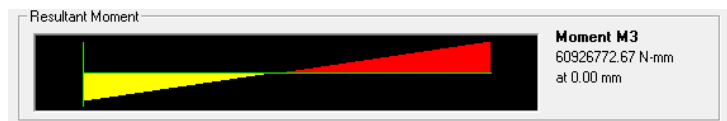
(SNI 03-2847-2013)

Momen akibat pengaruh gaya gempa

Momen arah sumbu X

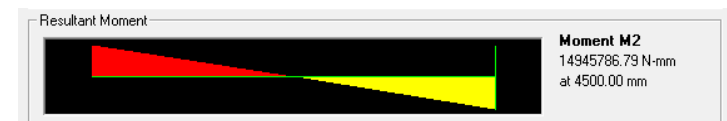


$$M_{2s} = 70433973 \text{ N.mm}$$



$$M_{1s} = 60926772,67 \text{ N.mm}$$

Momen arah sumbu Y



$$M_{2s} = 14945786,79 \text{ N.mm}$$



$$M_{1s} = 8096474,84 \text{ N.mm}$$

Momen akibat pengaruh beban gempa

$M_{1s}$  = momen akibat beban yang menimbulkan goyangan ke samping yang terkecil dalam N.mm

(SNI 03-2847-2013)

$M_{2s}$  = momen akibat beban yang menimbulkan goyangan ke samping yang terbesar dalam N.mm

(SNI 03-2847-2013)

Syarat gaya aksial pada kolom

Menurut **SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.2** gaya aksial terfaktor maksimum yang bekerja pada komponen struktur kolom tidak boleh lebih dari  $A_g \cdot f_c' / 10$  dan bila  $P_u$  lebih besar maka perhitungan harus mengikuti pasal 21.3.5 (ketentuan kolom untuk SRPMM)

$$A_g \cdot f_c' / 10 = (400 \times 400 \times 30) / 10 \\ = 480000 \text{ N}$$

$$P_u = 1806297,96 \text{ N}$$

$$P_u > A_g \cdot f_c' / 10$$

$$1806297,96 \text{ N} > 480000 \text{ N (memenuhi)}$$

Kontrol kelangsingan kolom

$\beta_d$  = rasio beban aksial tetap terfaktor maksimum terhadap rasio beban aksial terfaktor maksimum

$$\beta_d = \frac{1,2D}{1,2D + 1,6L} \\ = (10337434,4 \text{ N}) / (18006297,96 \text{ N}) \\ = 0,574$$

Panjang tekuk kolom

$$\Psi = \frac{\sum (EI/L)_{\text{kolom}}}{\sum (EI/L)_{\text{balok}}}$$

(SNI 03-2847-2013 Pasal 10.10.7)

Untuk kolom 40/40

$$E_{lk} = (0,4 \times E_c \times I_g) / (1 + \beta_d)$$

(SNI 03-2847-2013 Pasal 10.10.6.1)

$$I_g = 0,7 \times (1/12) \times b \times h^3 \\ = 0,7 \times (1/12) \times 400 \times 400^3$$

$$\begin{aligned}
 &= 1493333333 \text{ mm}^4 \\
 E_c &= 4700 \sqrt{f_c'} \\
 &= 4700 \sqrt{30} \\
 &= 25742,96 \text{ N/mm}^2 \\
 E_{lk} &= (0,4 \times 25742,96 \times 1493333333) / (1+0,574) \\
 &= 9,769 \times 10^{12} \text{ N.mm}^2
 \end{aligned}$$

Untuk balok memanjang 25/45

$$E_{lb} = (0,4 \times E_c \times I_g) / (1 + \beta_d)$$

**(SNI 03-2847-2013 Pasal 10.10.6.1)**

$$\begin{aligned}
 I_g &= 0,35 \times (1/12) \times b \times h^3 \\
 &= 0,35 \times (1/12) \times 250 \times 450^3 \\
 &= 664453125 \text{ mm}^4 \\
 E_c &= 4700 \sqrt{f_c'} \\
 &= 4700 \sqrt{30} \\
 &= 25742,96 \text{ N/mm}^2 \\
 E_{lk} &= (0,4 \times 25742,96 \times 664453125) / (1+0,574) \\
 &= 4,347 \times 10^{12} \text{ N.mm}^2
 \end{aligned}$$

Untuk balok memanjang 20/35

$$E_{lb} = (0,4 \times E_c \times I_g) / (1 + \beta_d)$$

**(SNI 03-2847-2013 Pasal 10.10.6.1)**

$$\begin{aligned}
 I_g &= 0,35 \times (1/12) \times b \times h^3 \\
 &= 0,35 \times (1/12) \times 200 \times 350^3 \\
 &= 250104166,7 \text{ mm}^4 \\
 E_c &= 4700 \sqrt{f_c'} \\
 &= 4700 \sqrt{30} \\
 &= 25742,96 \text{ N/mm}^2 \\
 E_{lk} &= (0,4 \times 25742,96 \times 250104166,7) / (1+0,574) \\
 &= 1,636 \times 10^{12} \text{ N.mm}^2
 \end{aligned}$$

Untuk balok melintang 25/45

$$E_{lb} = (0,4 \times E_c \times I_g) / (1 + \beta_d)$$

**(SNI 03-2847-2013 Pasal 10.10.6.1)**

$$\begin{aligned}
 I_g &= 0,35 \times (1/12) \times b \times h^3 \\
 &= 0,35 \times (1/12) \times 250 \times 450^3 \\
 &= 664453125 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E_c &= 4700 \sqrt{f_c'} \\
 &= 4700 \sqrt{30} \\
 &= 25742,96 \text{ N/mm}^2 \\
 E_{lk} &= (0,4 \times 25742,96 \times 664453125) / (1+0,574) \\
 &= 4,347 \times 10^{12} \text{ N.mm}^2
 \end{aligned}$$

Untuk sloof memanjang 25/45

$$E_{lb} = (0,4 \times E_c \times I_g) / (1 + \beta_d)$$

**(SNI 03-2847-2013 Pasal 10.10.6.1)**

$$\begin{aligned}
 I_g &= 0,35 \times (1/12) \times b \times h^3 \\
 &= 0,35 \times (1/12) \times 250 \times 450^3 \\
 &= 664453125 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E_c &= 4700 \sqrt{f_c'} \\
 &= 4700 \sqrt{30} \\
 &= 25742,96 \text{ N/mm}^2 \\
 E_{lk} &= (0,4 \times 25742,96 \times 664453125) / (1+0,574) \\
 &= 4,347 \times 10^{12} \text{ N.mm}^2
 \end{aligned}$$

Untuk sloof melintang 25/45

$$E_{lb} = (0,4 \times E_c \times I_g) / (1 + \beta_d)$$

**(SNI 03-2847-2013 Pasal 10.10.6.1)**

$$\begin{aligned}
 I_g &= 0,35 \times (1/12) \times b \times h^3 \\
 &= 0,35 \times (1/12) \times 250 \times 450^3 \\
 &= 664453125 \text{ mm}^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 E_c &= 4700 \sqrt{f_c'} \\
 &= 4700 \sqrt{30} \\
 &= 25742,96 \text{ N/mm}^2 \\
 E_{lk} &= (0,4 \times 25742,96 \times 664453125) / (1+0,574) \\
 &= 4,347 \times 10^{12} \text{ N.mm}^2
 \end{aligned}$$

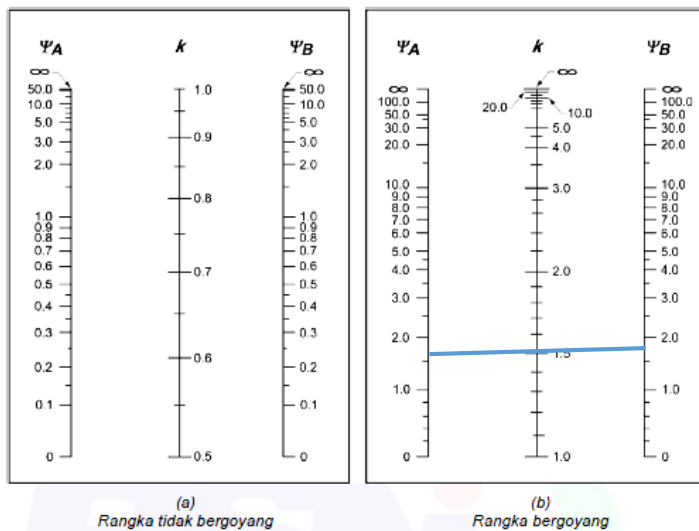
Untuk menentukan panjang tekuk kolom, akan diterapkan dengan menggunakan diagram factor panjang tekuk (k).

Kekakuan kolom atas

$$\begin{aligned}
 \Psi_A &= \frac{\Sigma (EI/L)_{\text{kolom atas}}}{(EI/L)_{B1} + (EI/L)_{B2} + (EI/L)_{B1} + (EI/L)_{B1}} \\
 &= 1,578
 \end{aligned}$$

Kekakuan kolom bawah

$$\Psi_B = \frac{\Sigma(EI/L)_{\text{kolom bawah}}}{(EI/L)_{s1} + (EI/L)_{s2} + (EI/L)_{s1} + (EI/L)_{s1}} = 1,822$$



**Gambar 4.115.** Faktor Panjang Efektif ( $k$ )

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 10.10.7

Dari grafik alignment didapatkan  $k = 1,5$

Menghitung radius girasi ( $r$ )

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 10.10.1.2 radius girasi boleh diambil sebesar 0,3 dari dimensi

$$r = 0,3 \cdot h$$

$$r = 0,3 \times 400 \text{ mm}$$

$$= 120 \text{ mm}$$

Kontrol kelangsingan



Nilai  $\frac{k \times Lu}{r} \leq 22$  ; pengaruh kelangsingan diabaikan (termasuk kolom pendek)

Nilai  $\frac{k \times Lu}{r} > 22$  ; pengaruh kelangsingan diperhitungkan (termasuk kolom langsing)  
 $= (1,5 \times 4500 \text{ mm}) / (120 \text{ mm})$   
 $= 56,25 > 22$  , maka kolom termasuk **kolom langsing**  
**(SNI 03-2847-2013 pasal 10.10)**

#### Peninjauan kolom akibat momen arah X

Berdasarkan *output* SAP 2000, maka diperoleh hasil gaya-gaya dalam arah X pada kolom sebagai berikut :

Akibat kombinasi gempa (1,2D+1,0L+1,0E<sub>X</sub>+0,3E<sub>Y</sub>)

$$M_{2s} = 70433973 \text{ N.mm}$$

$$M_{1s} = 60926772,67 \text{ N.mm}$$

Akibat kombinasi 1,2D+1,6L+0,5L<sub>r</sub>

$$M_{2ns} = 31416765,3 \text{ N.mm}$$

$$M_{1ns} = 15187660,24 \text{ N.mm}$$

Menghitung nilai P<sub>c</sub> (P kritis) pada kolom :

$$\begin{aligned} P_c &= (\pi^2 \times EI) / (k \times L_u) \\ &= (\pi^2 \times 9,769 \times 10^{12}) / (1,5 \times 4500) \\ &= 1,428 \times 10^{10} \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Sigma P_c &= n \times P_c \\ &= 4 \times 1,428 \times 10^{10} \text{ N} \\ &= 5,712 \times 10^{12} \text{ N} \end{aligned}$$

$$P_u = 18006297,96 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} \Sigma P_u &= n \times P_u \\ &= 4 \times 18006297,96 \text{ N} \\ &= 72025191,84 \text{ N} \end{aligned}$$

Menghitung faktor pembesakan momen (δ<sub>s</sub>)

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{\Sigma P_u}{0,75 \cdot \Sigma P_c}} \geq 1,00$$

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{72025191,84}{0,75 \cdot (5,712 \times 10^{10})}} \geq 1,00$$

$$\delta_s = 1,002 \geq 1,00$$

Maka dipakai  $\delta_s = 1,002$  dalam perhitungan pembesaran momen.

Pembesaran momen :

$$\begin{aligned} M_1 &= M_{1ns} + \delta_s \cdot M_{1s} \\ &= 15187660,24 + 1,002 \times 60926772,67 \\ &= 76175359,68 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_2 &= M_{2ns} + \delta_s \cdot M_{2s} \\ &= 31416765,3 + 1,002 \times 70433973 \\ &= 84242245,05 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Diambil momen terbesar yaitu :

$$M_2 = 84242245,05 \text{ N.mm}$$

#### Menentukan $\rho_{\text{perlu}}$ dari diagram interaksi

Dalam menentukan nilai  $\rho_{\text{perlu}}$  untuk kebutuhan tulangan lentur kolom, digunakan diagram interaksi pada buku Tabel Grafik dan Diagram Interaksi untuk perhitungan struktur beton berdasarkan SNI. Keterangan yang dibutuhkan dalam penggunaan diagram interaksi adalah :

$$\begin{aligned} \mu_h &= h_{\text{kolom}} - (2 \cdot \text{decking}) - (2 \cdot \emptyset_{\text{geser}}) - D_{\text{lentur}} \\ &= 400 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - 19 \\ &= 281 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu &= \mu_h / h_{\text{kolom}} \\ &= 281/400 \\ &= 0,7025 \approx 0,8 \end{aligned}$$

Sumbu vertical

$$\begin{aligned} (\phi \cdot P_n / A_g) &= (P_u / b \cdot h) \\ &= 1806297,96 / (400 \times 400) \\ &= 1,289 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Sumbu horizontal

$$\begin{aligned} (\phi \cdot M_n / A_g \cdot h) &= (M_u / b \cdot h^2) \\ &= (84242245,05 / (400 \times 400^2)) \end{aligned}$$

$$= 1,316 \text{ N/mm}^2$$

Maka dari diagram interaksi kolom, didapatkan

$$\rho_{\text{perlu}} = 2\% = 0,02$$

### Menghitung penulangan kolom

luas tulangan lentur perlu

$$\begin{aligned} A_{s \text{ perlu}} &= \rho_{\text{perlu}} \times b \times h \\ &= 0,02 \times 400 \times 400 \text{ mm}^2 \\ &= 1600 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luas tulangan lentur

$$\begin{aligned} \text{Luas tulangan D19} &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 19^2 \\ &= 283,529 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan lentur pasang

$$\begin{aligned} n &= A_{s \text{ perlu}} / \text{luas tulangan D19} \\ &= 1600 / 283,259 \\ &= 5,648 \approx 8 \text{ buah} \end{aligned}$$

Luas tulangan lentur pasang

$$\begin{aligned} A_{s \text{ pasang}} &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= 8 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 19^2 \\ &= 2268,229 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Maka direncanakan penulangan kolom untuk peninjauan momen arah X menggunakan tulangan sebesar 8D19.

$$\begin{aligned} \% \text{ tulangan} &= \frac{\text{luas tulangan terpasang}}{\text{luas bruto penampang kolom}} \times 100\% \\ &= \frac{2268,229}{400 \times 400} \times 100\% \\ &= 1,428\% < 8\% \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

### Mencari $e_{\text{perlu}}$ dan $e_{\text{min}}$

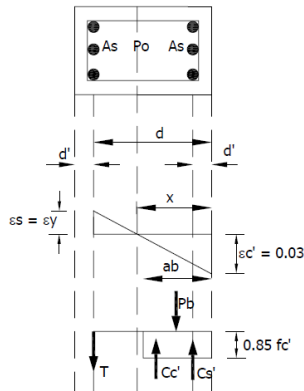
$$\begin{aligned} M_n &= M_u / 0,65 \\ &= 84242245,05 \text{ N.mm} / 0,65 \\ &= 129603453,9 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_n &= P_u / 0,65 \\ &= 1806297,96 \text{ N} / 0,65 \\ &= 2778919,938 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} e_{\text{perlu}} &= M_n / P_n \\ &= 129603453,9 \text{ N.mm} / 2778919,938 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 46,638 \text{ mm} \\
 e_{\min} &= (15,24 + 0,03 h) \\
 &= (15,24 + 0,03 \cdot 400 \text{ mm}) \\
 &= 27,24 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

### Cek kondisi *balance*



**Gambar 4.116.** Kondisi *balance*

Syarat :  $\epsilon_s = \epsilon_y \rightarrow f_s = f_y$

$$\begin{aligned}
 d &= b - \text{decking} - \emptyset \text{ sengkang} - \frac{1}{2} D.\text{tul.lentur} \\
 &= (450 - 40 - 10 - \frac{1}{2} \cdot 19) \text{ mm} \\
 &= 390,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d' &= \text{decking} + \emptyset \text{ sengkang} + \frac{1}{2} D.\text{tul.lentur} \\
 &= 40 \text{ mm} + 10 \text{ mm} + \frac{1}{2} \cdot 19 \text{ mm} \\
 &= 59,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d'' &= b - \text{decking} - \emptyset \text{ sengkang} - \frac{1}{2} D.\text{tul.lentur} - \frac{1}{2} b \\
 &= (450 - 40 - 10 - \frac{1}{2} (19) - \frac{1}{2} 450) \text{ mm} \\
 &= 165,5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 X_b &= (600 / (600 + f_y)) \times d \\
 &= (600 / (600 + 400)) \times 390,5 \text{ mm} \\
 &= 234,3 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$A_b = 0,85 \times X_b$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,85 \times 234,3 \text{ mm} \\
 &= 199,155 \text{ mm} \\
 C_s' &= A_s' \cdot (f_y - 0,85 \cdot f_c') \\
 &= 2268,229 \times (400 - 0,85 \times 30) \\
 &= 84722,7605 \text{ N} \\
 T &= A_s \cdot f_y \\
 &= 2286,229 \times 400 \\
 &= 914491,6 \text{ N} \\
 C_c' &= 0,85 \times \beta_1 \times f_c' \times b \times X_b \\
 &= 0,85 \times 0,85 \times 30 \times 400 \times 234,3 \\
 &= 2031381 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Syarat,

$$\Sigma V = 0$$

$$\begin{aligned}
 P_b &= C_c' + C_s' - T \\
 &= 2031381 \text{ N} + 84722,7605 \text{ N} - 914491,6 \text{ N} \\
 &= 1201612,161 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_b &= P_b \times e_b \\
 &= C_c' \left( d - d' - \frac{A_b}{2} \right) + C_s' (d - d'' - d') + T \cdot d'' \\
 &= ( 2031381 \times ( 390,5 - 59,5 - (199,155/2) ) ) + ( \\
 &84722,7605 \times (390,5 - 165,5 - 59,5)) + ( 914491,6 \\
 &\times 165,5) \\
 &= 635477246,1 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 e_b &= M_b / P_b \\
 &= 635477246,1 \text{ N.mm} / 1201612,161 \text{ N} \\
 &= 528,85 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Kontrol kondisi :

$e_{\min} < e_{\text{perlu}} < e_{\text{balance}}$  , kondisi tekan menentukan

$e_{\min} < e_{\text{perlu}} > e_{\text{balance}}$ , kondisi tarik menentukan

$$e_{\min} = 27,24 \text{ mm}$$

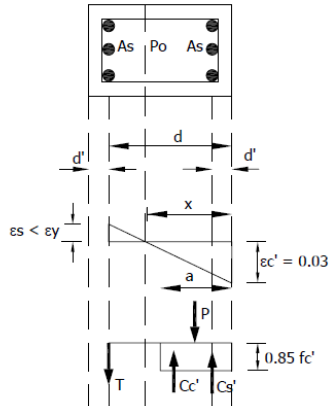
$$e_{\text{perlu}} = 46,638 \text{ mm}$$

$$e_{\text{balance}} = 528,85 \text{ mm}$$

$$e_{\min} < e_{\text{perlu}} < e_{\text{balance}}$$

$$27,24 \text{ mm} < 46,638 \text{ mm} < 528,85 \text{ mm} \text{ (tekan menentukan)}$$

Kontrol kondisi tekan menentukan



**Gambar 4.117.** Kondisi Tekan Menentukan

Syarat,  $e < e_b$

46,638 mm < 528,85 mm (**oke**)

Mencari nilai  $x$  :

$$a = 0,54 \times d$$

$$0,85 \cdot x = 0,54 \times 390,5 \text{ mm}$$

$$x = 250 \text{ mm}$$

$$a = 0,85 \cdot x$$

$$= 0,85 \times 250 \text{ mm}$$

$$= 212,5 \text{ mm}$$

Syarat,  $\varepsilon_s < \varepsilon_y$ ,  $f_s < f_y$

$$\varepsilon_s = \left( \frac{d}{x} - 1 \right) \cdot 0,003$$

$$= ((390,5/250) - 1) \times 0,003$$

$$= 0,001686$$

$$f_s = \left( \frac{d}{x} - 1 \right) \cdot 600$$

$$= ((390,5/250) - 1) \times 600$$

$$= 337,2$$

$$\varepsilon_y = f_y / \varepsilon_s$$

$$= 400 \text{ Mpa} / 200000 \text{ Mpa}$$

$$= 0,002$$

Kontrol :

$$\varepsilon_s < \varepsilon_y$$

$$0,001686 < 0,002 \text{ ..... (Oke)}$$

$$f_s < f_y$$

$$337,2 \text{ Mpa} < 400 \text{ Mpa} \text{..... (Oke)}$$

$$C_s' = A_s' \cdot (f_y - 0,85 \cdot f_c')$$

$$= 2268,229 \times (400 - 0,85 \times 30)$$

$$= 84722,7605 \text{ N}$$

$$C_c' = 0,85 \times \beta_1 \times f_c' \times b \times X$$

$$= 0,85 \times 0,85 \times 30 \times 400 \times 250$$

$$= 2167500 \text{ N}$$

$$T = A_s \cdot \left( \frac{d}{x} - 1 \right) \cdot 600$$

$$= 2268,229 \times ((390,5/250) - 1) \times 600$$

$$= 764846,8188 \text{ N}$$

$$\Sigma V = 0$$

$$P_b = C_c' + C_s' - T$$

$$= 58340,43 \text{ N} + 2167500 \text{ N} - 764846,8188 \text{ N}$$

$$= 1460993,611 \text{ N}$$

Syarat,  $P > P_b$

$$1806297,96 \text{ N} > 1460993,611 \text{ N (Oke)}$$

$$M_n = C_c' \left( d - d' - \frac{a}{2} \right) + C_s' (d - d'' - d') + T \cdot d''$$

$$= ( 2167500 \times ( 390,5 - 59,5 - (212,5/2) ) ) + ($$

$$84722,7605 \times (390,5 - 165,5 - 59,5)) + ($$

$$764846,8188 \times 165,5)$$

$$= 755699023,5 \text{ N.mm}$$

Cek syarat :

$$M_n \text{ terpasang} > M_n$$

$$755699023,5 \text{ N.mm} > 129603453,9 \text{ N.mm (Oke)}$$

Peninjauan kolom akibat momen arah Y

Berdasarkan *output* SAP 2000, maka diperoleh hasil gaya-gaya dalam arah X pada kolom sebagai berikut :

Akibat kombinasi gempa (1,2D+1,0L+1,0E<sub>X</sub>+0,3E<sub>Y</sub>)

$$M_{2s} = 14945786,79 \text{ N.mm}$$

$$M_{1s} = 8096474,84 \text{ N.mm}$$

Akibat kombinasi 1,2D+1,6L+0,5L<sub>r</sub>

$$M_{2ns} = 8096474,84 \text{ N.mm}$$

$$M_{1ns} = 8074486,33 \text{ N.mm}$$

Menghitung nilai P<sub>c</sub> (P kritis) pada kolom :

$$\begin{aligned} P_c &= (\pi^2 \times EI) / (k \times L_u) \\ &= (\pi^2 \times 9,769 \times 10^{12}) / (1,5 \times 4500) \\ &= 1,428 \times 10^{10} \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Sigma P_c &= n \times P_c \\ &= 4 \times 1,428 \times 10^{10} \text{ N} \\ &= 5,712 \times 10^{12} \text{ N} \end{aligned}$$

$$P_u = 1806297,96 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} \Sigma P_u &= n \times P_u \\ &= 4 \times 1806297,96 \text{ N} \\ &= 72025191,84 \text{ N} \end{aligned}$$

Menghitung faktor pembesaran momen ( $\delta_s$ )

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{\Sigma P_u}{0,75 \cdot \Sigma P_c}} \geq 1,00$$

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{72025191,84}{0,75 \cdot (5,712 \times 10^{12})}} \geq 1,00$$

$$\delta_s = 1,002 \geq 1,00$$

Maka dipakai  $\delta_s = 1,002$  dalam perhitungan pembesaran momen.

Pembesaran momen :

$$\begin{aligned} M_1 &= M_{1ns} + \delta_s \cdot M_{1s} \\ &= 8074486,33 + 1,002 \times 8096474,84 \\ &= 16187154,12 \text{ N.mm} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 M_2 &= M_{2ns} + \delta_s \cdot M_{2s} \\
 &= 8096474,84 + 1,002 \times 14945786,79 \\
 &= 23072153,2 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

Diambil momen terbesar yaitu :

$$M_2 = 23072153,2 \text{ N.mm}$$

#### Menentukan $\rho_{\text{perlu}}$ dari diagram interaksi

Dalam menentukan nilai  $\rho_{\text{perlu}}$  untuk kebutuhan tulangan lentur kolom, digunakan diagram interaksi pada buku Tabel Grafik dan Diagram Interaksi untuk perhitungan struktur beton berdasarkan SNI. Keterangan yang dibutuhkan dalam penggunaan diagram interaksi adalah :

$$\begin{aligned}
 \mu_h &= h_{\text{kolom}} - (2 \cdot \text{decking}) - (2 \cdot \emptyset_{\text{geser}}) - D_{\text{lentur}} \\
 &= 400 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - 19 \\
 &= 281 \text{ mm} \\
 \mu &= \mu_h / h_{\text{kolom}} \\
 &= 281 / 400 \\
 &= 0,7025 \approx 0,8
 \end{aligned}$$

Sumbu vertical

$$\begin{aligned}
 (\phi \cdot P_n / A_g) &= (P_u / b \cdot h) \\
 &= 1806297,96 / (400 \times 400) \\
 &= 1,289 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

Sumbu horizontal

$$\begin{aligned}
 (\phi \cdot M_n / A_g \cdot h) &= (M_u / b \cdot h^2) \\
 &= (23072153,2 / (400 \times 400^2)) \\
 &= 0,360 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

Maka dari diagram interaksi kolom, didapatkan

$$\rho_{\text{perlu}} = 1\% = 0,01$$

#### Menghitung penulangan kolom

luas tulangan lentur perlu

$$\begin{aligned}
 A_{s \text{ perlu}} &= \rho_{\text{perlu}} \times b \times h \\
 &= 0,01 \times 400 \times 400 \text{ mm}^2 \\
 &= 1600 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Luas tulangan lentur

$$\begin{aligned}\text{Luas tulangan D19} &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 19^2 \\ &= 283,529 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Jumlah tulangan lentur pasang

$$\begin{aligned}n &= A_{s \text{ perlu}} / \text{luas tulangan D19} \\ &= 1600 / 283,259 \\ &= 5,648 \approx 8 \text{ buah}\end{aligned}$$

Luas tulangan lentur pasang

$$\begin{aligned}A_{s \text{ pasang}} &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= 8 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 19^2 \\ &= 2268,229 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Maka direncanakan penulangan kolom untuk peninjauan momen arah X menggunakan tulangan sebesar 8D19.

$$\begin{aligned}\% \text{ tulangan} &= \frac{\text{luas tulangan terpasang}}{\text{luas bruto penampang kolom}} \times 100\% \\ &= \frac{2286,229}{400 \times 400} \times 100\% \\ &= 1,428\% < 8\% \text{ (memenuhi)}\end{aligned}$$

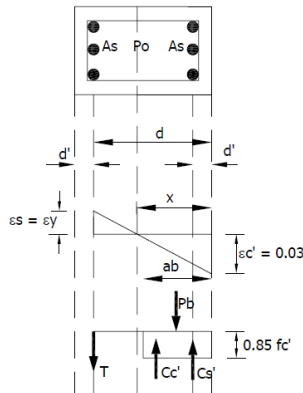
Mencari  $e_{\text{perlu}}$  dan  $e_{\text{min}}$

$$\begin{aligned}M_n &= M_u / 0,65 \\ &= 23072153,2 \text{ N.mm} / 0,65 \\ &= 353957158,8 \text{ N.mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}P_n &= P_u / 0,65 \\ &= 1806297,96 \text{ N} / 0,65 \\ &= 2778919,938 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}e_{\text{perlu}} &= M_n / P_n \\ &= 353957158,8 \text{ N.mm} / 2778919,938 \text{ N} \\ &= 127,37 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}e_{\text{min}} &= (15,24 + 0,03 h) \\ &= (15,24 + 0,03 \cdot 400 \text{ mm}) \\ &= 27,24 \text{ mm}\end{aligned}$$

Cek kondisi *balance***Gambar 4.116.** Kondisi *balance*

Syarat :  $\varepsilon_s = \varepsilon_y \rightarrow f_s = f_y$

$$\begin{aligned} d &= b - \text{decking} - \varnothing \text{ sengkang} - \frac{1}{2} D. \text{tul. lentur} \\ &= (450 - 40 - 10 - \frac{1}{2} \cdot 19) \text{ mm} \\ &= 390,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d' &= \text{decking} + \varnothing \text{ sengkang} + \frac{1}{2} D. \text{tul. lentur} \\ &= 40 \text{ mm} + 10 \text{ mm} + \frac{1}{2} \cdot 19 \text{ mm} \\ &= 59,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d'' &= b - \text{decking} - \varnothing \text{ sengkang} - \frac{1}{2} D. \text{tul. lentur} - \frac{1}{2} b \\ &= (450 - 40 - 10 - \frac{1}{2} (19) - \frac{1}{2} 450) \text{ mm} \\ &= 165,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X_b &= (600 / (600 + f_y)) \times d \\ &= (600 / (600 + 400)) \times 390,5 \text{ mm} \\ &= 234,3 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_b &= 0,85 \times X_b \\ &= 0,85 \times 234,3 \text{ mm} \\ &= 199,155 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_s' &= A_s' \cdot (f_y - 0,85 \cdot f_c') \\ &= 2268,229 \times (400 - 0,85 \times 30) \\ &= 84722,7605 \text{ N} \end{aligned}$$

$$T = A_s \cdot f_y$$

$$\begin{aligned}
 &= 2286,229 \times 400 \\
 &= 914491,6 \text{ N} \\
 Cc' &= 0,85 \times \beta_1 \times f_c' \times b \times X_b \\
 &= 0,85 \times 0,85 \times 30 \times 400 \times 234,3 \\
 &= 2031381 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Syarat,

$$\Sigma V = 0$$

$$\begin{aligned}
 P_b &= Cc' + Cs' - T \\
 &= 2031381 \text{ N} + 84722,7605 \text{ N} - 914491,6 \text{ N} \\
 &= 1201612,161 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_b &= P_b \times e_b \\
 &= Cc' \left( d - d' - \frac{A_b}{2} \right) + Cs' (d - d'' - d') + T \cdot d'' \\
 &= ( 2031381 \times ( 390,5 - 59,5 - (199,155/2) ) ) + ( \\
 &\quad 84722,7605 \times (390,5 - 165,5 - 59,5) ) + ( 914491,6 \\
 &\quad \times 165,5 ) \\
 &= 635477246,1 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 e_b &= M_b / P_b \\
 &= 635477246,1 \text{ N.mm} / 1201612,161 \text{ N} \\
 &= 528,85 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Kontrol kondisi :

$e_{\min} < e_{\text{perlu}} < e_{\text{balance}}$  , kondisi tekan menentukan

$e_{\min} < e_{\text{perlu}} > e_{\text{balance}}$ , kondisi tarik menentukan

$$e_{\min} = 27,24 \text{ mm}$$

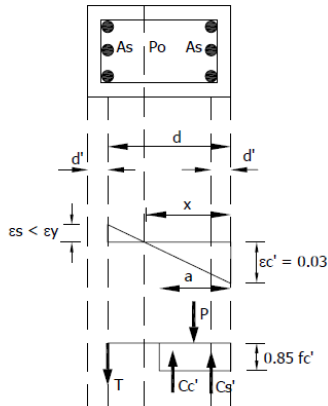
$$e_{\text{perlu}} = 127,37 \text{ mm}$$

$$e_{\text{balance}} = 528,85 \text{ mm}$$

$$e_{\min} < e_{\text{perlu}} < e_{\text{balance}}$$

**27,24 mm < 127,37 mm < 528,85 mm (tekan menentukan)**

Kontrol kondisi tekan menentukan



**Gambar 4.117.** Kondisi Tekan Menentukan

Syarat,  $e < e_b$

46,638 mm < 528,85 mm (**oke**)

Mencari nilai  $x$  :

$$a = 0,54 \times d$$

$$0,85 \cdot x = 0,54 \times 390,5 \text{ mm}$$

$$x = 250 \text{ mm}$$

$$a = 0,85 \cdot x$$

$$= 0,85 \times 250 \text{ mm}$$

$$= 212,5 \text{ mm}$$

Syarat,  $\epsilon_s < \epsilon_y$ ,  $f_s < f_y$

$$\epsilon_s = \left( \frac{d}{x} - 1 \right) \cdot 0,003$$

$$= ((390,5/250) - 1) \times 0,003$$

$$= 0,001686$$

$$f_s = \left( \frac{d}{x} - 1 \right) \cdot 600$$

$$= ((390,5/250) - 1) \times 600$$

$$= 337,2$$

$$\epsilon_y = f_y / \epsilon_s$$

$$= 400 \text{ Mpa} / 200000 \text{ Mpa}$$

$$= 0,002$$

Kontrol :

$$\varepsilon_s < \varepsilon_y$$

$$0,001686 < 0,002 \text{ ..... (Oke)}$$

$$f_s < f_y$$

$$337,2 \text{ Mpa} < 400 \text{ Mpa ..... (Oke)}$$

$$\begin{aligned} C_s' &= A_s' \cdot (f_y - 0,85 \cdot f_c') \\ &= 2268,229 \times (400 - 0,85 \times 30) \\ &= 84722,7605 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_c' &= 0,85 \times \beta_1 \times f_c' \times b \times X \\ &= 0,85 \times 0,85 \times 30 \times 400 \times 250 \\ &= 2167500 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T &= A_s \cdot \left( \frac{d}{x} - 1 \right) \cdot 600 \\ &= 2268,229 \times ((390,5/250) - 1) \times 600 \\ &= 764846,8188 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\Sigma V = 0$$

$$\begin{aligned} P_b &= C_c' + C_s' - T \\ &= 58340,43 \text{ N} + 2167500 \text{ N} - 764846,8188 \text{ N} \\ &= 1460993,611 \text{ N} \end{aligned}$$

Syarat,  $P > P_b$

$$1806297,96 \text{ N} > 1460993,611 \text{ N (Oke)}$$

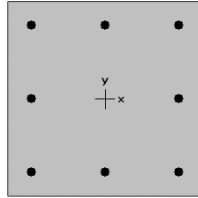
$$\begin{aligned} M_n &= C_c' \left( d - d' - \frac{a}{2} \right) + C_s' (d - d'' - d') + T \cdot d'' \\ &= ( 2167500 \times ( 390,5 - 59,5 - (212,5/2) ) ) + ( \\ &\quad 84722,7605 \times (390,5 - 165,5 - 59,5) ) + ( \\ &\quad 764846,8188 \times 165,5) \\ &= 755699023,5 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Cek syarat :

$$M_n \text{ terpasang} > M_n$$

$$755699023,5 \text{ N.mm} > 353957158,8 \text{ N.mm (Oke)}$$

Sehingga kolom dipasang berdasarkan penulangan lentur terbesar, yaitu pada sumbu X maka dipasang sebesar 8D19 dengan model pemasangan tulangan sebagai berikut :



**Gambar 4.118.** Penampang Kolom K1

Kontrol jarak spasi tulangan satu sisi :

Syarat :

$S_{\max} \geq S_{\text{sejajar}}$ , tulangan susun 1 lapis

$S_{\max} \leq S_{\text{sejajar}}$ , perbesar penampang kolom

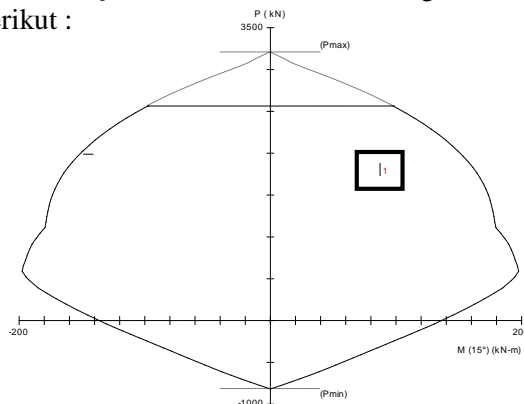
$$S_{\max} = \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times \phi_{\text{geser}}) - (n \times D_{\text{lentur}})}{n - 1}$$

$$S_{\max} = \frac{400 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (4 \times 19)}{4 - 1}$$

$$S_{\max} = 74,67 \text{ mm}$$

$$S_{\max} = 74,67 \text{ mm} > 40 \text{ mm (memenuhi)}$$

Sehingga diagram interaksi kolom K1 40/40 dapat dibuat melalui *software* PCAColoumn, dengan hasil sebagai berikut :



**Gambar 4.119.** Hasil Diagram Interaksi Kolom K1 40 x 40 (PCAColoumn)

Factored Loads and Moments with Corresponding Capacities: (see user's manual for notation)						
No.	Pu kN	Mux kN-m	Muy kN-m	fMnx kN-m	fMny kN-m	fMn/Mu
1	1806.3	84.2	23.1	156.6	42.9	1.859

**Gambar 4.120.** Hasil Output pada PCAColoumn

Berdasarkan *output* dari pcaColoumn

$$M_{ux} = 84,2 \text{ kN.m}$$

$$M_{uy} = 23,1 \text{ kN.m}$$

$$M_{nx} = 156,6 \text{ kN.m}$$

$$M_{ny} = 42,9 \text{ kN.m}$$

Dengan syarat,

$$M_{ux} < M_{nx}$$

$$84,2 \text{ kN.m} < 156,6 \text{ kN.m} \text{ (**memenuhi**)}$$

$$M_{uy} < M_{ny}$$

$$23,1 \text{ kN.m} < 42,9 \text{ kN.m} \text{ (**memenuhi**)}$$

Maka perencanaan dipasang tulangan kolom sebanyak 8D19. Presentase tulangan terpasang :

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= 8 \times 0,25 \times \pi \times 19^2 \\ &= 2286,229 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Cek persyaratan :

$$\begin{aligned} \% \text{ tulangan} &= \frac{\text{luas tulangan terpasang}}{\text{luas bruto penampang kolom}} \times 100\% \\ &= \frac{2286,229}{400 \times 400} \times 100\% \\ &= 1,428\% < 8\% \text{ (**memenuhi**)} \end{aligned}$$

### **Kesimpulan :**

Jika kapasitas momen yang dihasilkan oleh analisis program pcacol lebih besar daripada momen ultimate perhitungan manual ( $M_u$  manual) oleh penampang kolom dan tulangannya, maka perhitungan kebutuhan tulangan kolom memenuhi dalam artian kolom tidak mengalami keruntuhan.



#### 4.5.1.2. Perhitungan Penulangan Geser Kolom K1

Data perencanaan

H kolom = 400 mm

B kolom = 400 mm

Tebal selimut beton = 40 mm

Tinggi kolom = 4500 mm

Mutu beton ( $f_c'$ ) = 30 Mpa

Kuat leleh tulangan lentur ( $f_y$ ) = 400 Mpa

Kuat leleh tulangan geser ( $f_{yv}$ ) = 320 Mpa

Diameter tulangan lentur = D19

Diameter tulangan geser = Ø10

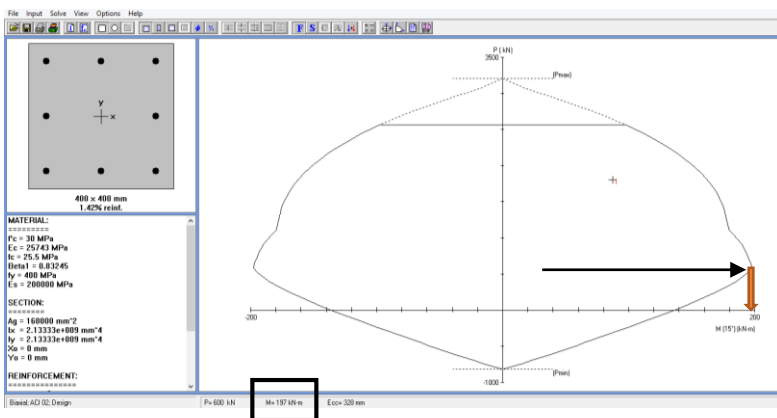
Factor reduksi = 0,75

(SNI 03-2487-2013 Pasal 11.3.2.(3))

Berdasarkan hasil *output* program SAP 2000, maka diperoleh hasil gaya pada kolom K1 sebagai berikut :

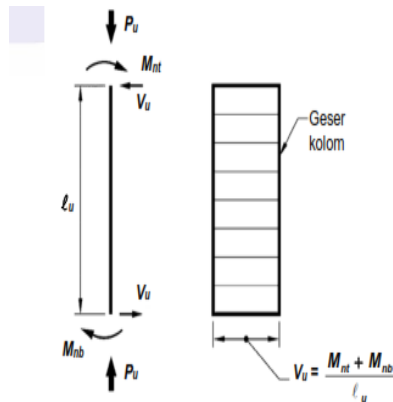
$P_u = 1806297,96 \text{ N}$

Gaya lintang rencana pada kolom untuk peninjauan SRPMM diambil dari hasil PCAColumn sebagai berikut :



**Gambar 4.121.** Gaya Lintang Rencana untuk SRPMM

$$\begin{aligned}
 M_{ut} &= 197 \text{ kN.m} \\
 &= 197000000 \text{ N.mm} \\
 M_{ub} &= 197 \text{ kN.m} \\
 &= 197000000 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$



**Gambar 4.122.** Gaya Lintang Rencana untuk SRPMM

$$V_u = \frac{M_{nt} + M_{nb}}{L_u} \text{ (SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.5)}$$

Dimana :

$$\begin{aligned}
 M_{nt} &= \text{momen nominal atas kolom} \\
 M_{nb} &= \text{momen nominal bawah kolom} \\
 M_{nt} &= M_{ut} / \phi \\
 &= 197000000 / 0,75 \\
 &= 262666666,7 \text{ N.mm} \\
 M_{nb} &= M_{ub} / \phi \\
 &= 197000000 / 0,75 \\
 &= 262666666,7 \text{ N.mm} \\
 V_u &= \frac{262666666,7 + 262666666,7}{4500} \\
 &= 116740,7407 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Syarat kuat tekan beton ( $f'_c$ )

Nilai  $\sqrt{f'_c}$  yang digunakan tidak boleh melebihi 25/3 Mpa.  
(SNI 03-2847-2013)

$$\sqrt{30} \leq 25/3$$

$$5,477 \text{ N/mm}^2 \leq 8,33 \text{ N/mm}^2 \text{ (**memenuhi**)}$$

Kekuatan geser pada beton

$$V_C = 0,17 \cdot \left[ 1 + \frac{N_U}{14 \times A_g} \right] \times \lambda \times \sqrt{f'_c} \times b_w \times d$$

$$V_C = 0,17 \cdot \left[ 1 + \frac{1806297,96}{14 \times 160000} \right] \times 1 \times \sqrt{30} \times 400 \times 390,5$$

$$V_C = 262724,4067 \text{ N}$$

Kuat geser tulangan :

$$\begin{aligned} V_{S \text{ min}} &= 0,33 \times b \times d \\ &= 0,33 \times 400 \times 390,5 \\ &= 51546 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{S \text{ max}} &= 0,33 \times \sqrt{f'_c} \times b \times d \\ &= 0,33 \times \sqrt{30} \times 400 \times 390,5 \\ &= 282239,0695 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2. V_{S \text{ max}} &= 0,66 \times \sqrt{f'_c} \times b \times d \\ &= 0,66 \times \sqrt{30} \times 400 \times 390,5 \\ &= 564658,139 \text{ N} \end{aligned}$$

#### Kondisi 1

$V_U \leq 0,5 \phi V_C$ , tidak perlu tulangan geser

$$V_U = 116740,7407 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} 0,5 \cdot \phi \cdot V_C &= 0,5 \cdot (0,75) \cdot (262724,4067) \\ &= 98521,652 \text{ N} \end{aligned}$$

$$116740,7407 \text{ N} > 98521,652 \text{ N} \text{ (**Tidak memenuhi**)}$$

#### Kondisi 2

$0,5 \phi V_C \leq V_U \leq \phi V_C$ , tulangan geser

$$\begin{aligned} 0,5 \cdot \phi \cdot V_C &= 0,5 \cdot (0,75) \cdot (262724,4067) \\ &= 98521,652 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi \cdot V_C &= (0,75) \cdot (262724,4067) \\ &= 197043,305 \text{ N} \end{aligned}$$

$$V_U = 116740,7407 \text{ N}$$

98521,652 N  $\leq$  116740,7407 N < 197043,305 N  
**(Memenuhi)**

Maka perencanaan penulangan geser kolom diambil berdasarkan **kondisi 2**.

Jarak tulangan geser perlu ( $S_{\text{perlu}}$ )

$$\begin{aligned} V_{S \text{ perlu}} &= \frac{V_u - \phi \cdot V_c}{\phi} \\ &= \frac{116740,7407 - (0,75) \cdot (262724,4067)}{0,75} \\ &= -107070,0858 \text{ N} \end{aligned}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser Ø10 mm dengan 2 kaki, maka luasan tulangan geser :

$$\begin{aligned} A_v &= (0,25 \times \pi \times \emptyset^2) \times n_{\text{kaki}} \\ &= 0,25 \times \pi \times 10^2 \times 2 \\ &= 157,88 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jarak tulangan geser perlu ( $S_{\text{perlu}}$ )

$$\begin{aligned} S_{\text{perlu}} &= \frac{A_v \times f_{yv} \times d}{V_{S \text{ perlu}}} \\ &= \frac{(157,88) \times (320) \times (390,5)}{107070,0858} \\ &= 184,26 \text{ mm} \end{aligned}$$

Kontrol jarak spasi tulangan geser berdasarkan kondisi 2

$$S_{\text{max}} \leq d/2$$

$$184,26 \text{ mm} \leq 390,5 \text{ mm}/2$$

$$184,26 \text{ mm} \leq 195,25 \text{ mm} \text{ (**memenuhi**)}$$

$$S_{\text{max}} \leq 600 \text{ mm}$$

$$184,26 \text{ mm} \leq 600 \text{ mm} \text{ (**memenuhi**)}$$

Sehingga dicoba tulangan geser Ø10 - 150 mm.

Cek berdasarkan SRPMM untuk kekuatan Geser Kolom

1. Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.5.2, spasi maksimum sengkang ikat yang dipasang pada rentang  $L_o$  dari muka hubungan balok-kolom  $S_o$ . Spasi  $S_o$  tersebut tidak boleh melebihi :

- a. Delapan kali diameter tulangan longitudinal terkecil,  
 $S_o \leq 8 \times D_{\text{lentur}}$   
 $150 \text{ mm} \leq 8 \times 19 \text{ mm}$   
 $150 \text{ mm} \leq 152 \text{ mm}$  (**memenuhi**)
- b. 24 kali diameter sengkang ikat  
 $S_o \leq 24 \times \emptyset_{\text{geser}}$   
 $150 \text{ mm} \leq 24 \times 10 \text{ mm}$   
 $150 \text{ mm} \leq 240 \text{ mm}$  (**memenuhi**)
- c. Setengah dimensi penampang terkecil struktur  
 $S_o \leq \frac{1}{2} \times b_w$   
 $150 \text{ mm} \leq \frac{1}{2} \times 400 \text{ mm}$   
 $150 \text{ mm} \leq 200 \text{ mm}$  (**memenuhi**)
- d.  $S_o \leq 300 \text{ mm}$   
 $150 \text{ mm} \leq 300 \text{ mm}$  (**memenuhi**)

Kontrol syarat penulangan geser memenuhi, maka  $S_{\text{pakai}}$  menggunakan jarak minimum kontrol yaitu 150 mm.

Maka digunakan  $S_o$  sebesar  $\emptyset 10 - 150 \text{ mm}$ .

Panjang  $L_o$  tidak boleh kurang dari pada nilai terbesar berikut ini :

- a. Seperenam tinggi bersih kolom  
 $L_o = \frac{1}{6} \times (4500 - 400)$   
 $= 683,33 \text{ mm}$
- b. Dimensi terbesar penampang kolom  
 $L_o = 400 \text{ mm}$
- c.  $L_o = 750 \text{ mm}$

Maka dipasang sengkang sebesar  $\emptyset 10 - 150 \text{ mm}$  sejarak 750 mm dari muka hubungan balok kolom.

2. Sengkang ikat pertama harus dipasang pada jarak tidak lebih dari pada  $0,5 \times S_o = 0,5 \times 150 \text{ mm} = 75 \text{ mm}$  dari muka hubungan balok-kolom.
3. Spasi sengkang ikat pada seberang penampang kolom tidak boleh melebihi  $2 \times S_o = 2 \times 150 \text{ mm} = 300 \text{ mm}$ .

Maka pada daerah setelah sejarak  $L_o = 750$  mm dari muka hubungan balok-kolom tetap dipasang sengkang sebesar  $\varnothing 10 - 150$  mm.

#### 4.5.1.3. Perhitungan Sambungan Lewatan Tulangan Vertikal Kolom

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 12.16.1, panjang lewatan minimum untuk sambungan lewatan tekan adalah  $0,071 \times f_y \times d_b$ , untuk  $f_y = 420$  Mpa atau kurang, tetapi tidak kurang dari 300 mm.

$$0,071 \times f_y \times d_b \geq 300 \text{ mm}$$

$$0,071 \times 400 \times 19 \geq 300 \text{ mm}$$

$$539,6 \text{ mm} \geq 300 \text{ mm (memenuhi)}$$

Maka panjang sambungan lewatan kolom sebesar 600 mm.

#### 4.5.1.4. Panjang Penyaluran Tulangan Kolom

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 12.2.3, panjang penyaluran untuk tulangan D19 harus diambil sebesar :

$$\frac{L_d}{d_b} = \frac{f_y}{1,1 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c}} \cdot \frac{\Psi_t \cdot \Psi_o \cdot \Psi_s}{\left(\frac{c + ktr}{d_b}\right)}$$

$$\frac{L_d}{d_b} = \frac{400}{1,1 \cdot 1,0 \cdot \sqrt{30}} \cdot \frac{1,0 \cdot 1,5 \cdot 1,0}{\left(\frac{61 + 0}{19}\right)}$$

$$\frac{L_d}{d_b} = 31,0185$$

$$L_d = 31,0185 \times 19$$

$$= 589,353 \text{ mm}$$

$$\approx 600 \text{ mm}$$

$$F_s = 60\% \times f_y$$

$$= 60\% \times 400 \text{ Mpa}$$

$$= 240 \text{ Mpa}$$

$$F_s > f_y$$

$$L_d \text{ pakai} = 1,3 \times 600 \text{ mm}$$

$$= 780 \text{ mm}$$

#### 4.5.2. Perhitungan Kolom K2

Berikut ini akan dibahas perhitungan penulangan kolom berdasarkan  $P_U$  ultimate terbesar, sebagai contoh perhitungan diambil kolom struktur As A-4 pada lantai 4. Perhitungan berikut disertai dengan data perencanaan, gambar denah kolom, *output* SAP 2000, ketentuan perhitungan, dan syarat-syarat penulangan kolom dengan metode SRPMM, sampai dengan hasil akhir gambar penampang kolom adalah sebagai berikut :

##### 4.5.2.1. Perhitungan Penulangan Lentur Kolom K2

❖ Data perencanaan kolom :

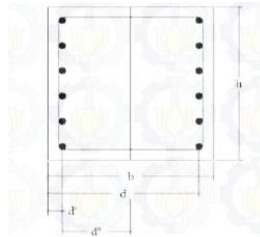
Tipe kolom	: K2
As kolom	: A - 7
Frame	: 292
Tinggi kolom atas	: 3570 mm
Tinggi kolom bawah	: 4500 mm
B kolom	: 400 mm
H kolom	: 400 mm
Kuat tekan beton ( $f_c'$ )	: 30 Mpa
Modulus elastis beton ( $E_c$ )	: $4700\sqrt{f_c'}$ Mpa
Modulus elastis baja ( $E_s$ )	: 200000 Mpa
Kuat leleh tul.lentur ( $f_{y \text{ lentur}}$ )	: 400 Mpa
Kuat leleh tul.geser ( $f_{y \text{ geser}}$ )	: 320 Mpa
Diameter tulangan lentur ( $D \text{ lentur}$ )	: 22 mm
Diameter tulangan geser ( $\emptyset \text{ geser}$ )	: 10 mm
Jarak spasi tulangan sejajar	: 40 mm
<b>(SNI 03-2847-2013 pasal 7.6.3)</b>	
Tebal selimut beton ( $t_{\text{decking}}$ )	: 40 mm
<b>(SNI 03-2847-2013 pasal 7.7.1)</b>	
Faktor $\beta_1$	: 0,85
<b>(SNI 03-2847-2013 pasal 10.2.7.(1))</b>	
Faktor reduksi kekuatan lentur	: 0,65
<b>(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(2))</b>	
Faktor reduksi kekuatan geser	: 0,75
<b>(SNI 03-2847-2013 pasal 9.3.2.(3))</b>	

Maka tinggi efektif kolom :

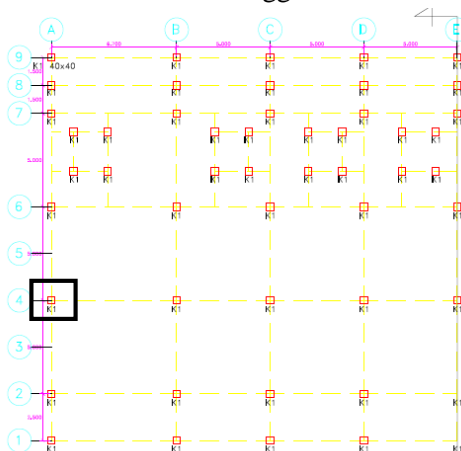
$$\begin{aligned} d &= b - \text{decking} - \emptyset \text{ sengkang} - \frac{1}{2} D.\text{tul.lentur} \\ &= (400 - 40 - 10 - \frac{1}{2} .22) \text{ mm} \\ &= 344,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d' &= \text{decking} + \emptyset \text{ sengkang} + \frac{1}{2} .D.\text{tul.lentur} \\ &= 40 \text{ mm} + 10 \text{ mm} + \frac{1}{2} .22 \text{ mm} \\ &= 61 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d'' &= b - \text{decking} - \emptyset \text{ sengkang} - \frac{1}{2} D.\text{tul.lentur} - \frac{1}{2} b \\ &= (400 - 40 - 10 - \frac{1}{2} (22) - \frac{1}{2} 400) \text{ mm} \\ &= 139 \text{ mm} \end{aligned}$$



**Gambar 4.123. Tinggi Efektif Kolom**



**Gambar 4.124. Denah Kolom yang Ditinjau**

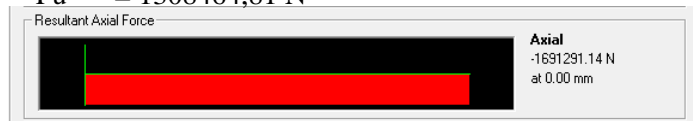


Berdasarkan hasil *output* SAP 2000 frame 292 didapatkan gaya aksial kolom :



**Gambar 4.125.** Gaya Aksial Kolom Kombinasi Beban  
1,2D

$$P_u = 1308464,81 \text{ N}$$



**Gambar 4.126.** Gaya Aksial Kolom Kombinasi Beban  
1,2D+1,6L+0,5Lr

$$P_u = 1691291,14 \text{ N}$$



**Gambar 4.127.** Gaya Aksial Kolom Kombinasi Beban  
1,2D+1,0L+1,0Ex+0,3Ey

$$P_u = 1541263,28 \text{ N}$$

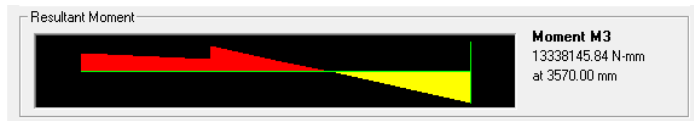


**Gambar 4.128.** Gaya Aksial Kolom Kombinasi Beban  
1,2D+1,0L+0,3Ex+1,0Ey

$$P_u = 156650,59 \text{ N}$$

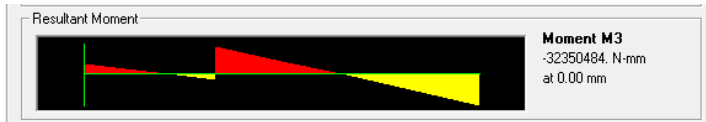
Momen akibat pengaruh beban gravitasi akibat beban kombinasi 1,2D+1,6L+0,5Lr

### Momen arah sumbu X



**Gambar 4.129.** Momen Arah Sumbu X Kombinasi Beban  
 $1,2D+1,6L+0,5Lr$

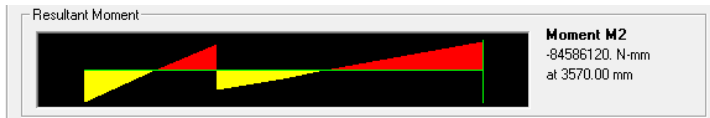
$$M_{2ns} = 32350484 \text{ N.mm}$$



**Gambar 4.130.** Momen Arah Sumbu X Kombinasi Beban  
 $1,2D+1,6L+0,5Lr$

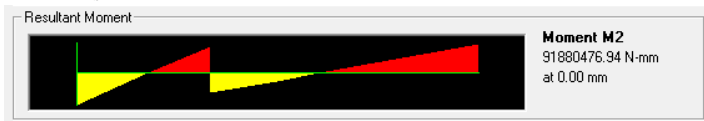
$$M_{1ns} = 13339145,84 \text{ N.mm}$$

### Momen arah sumbu Y



**Gambar 4.131.** Momen Arah Sumbu Y Kombinasi Beban  
 $1,2D+1,6L+0,5Lr$

$$M_{1ns} = 84586120 \text{ N.mm}$$



**Gambar 4.132.** Momen Arah Sumbu Y Kombinasi Beban  
 $1,2D+1,6L+0,5Lr$

$$M_{2ns} = 91880476,94 \text{ N.mm}$$

Momen akibat pengaruh beban gravitasi :

$M_{1ns}$  = adalah nilai yang lebih kecil dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang tidak menimbulkan goyangan ke samping

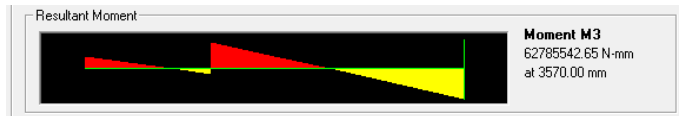
(SNI 03-2847-2013)

$M_{2ns}$  = adalah nilai yang lebih besar dari momen-momen ujung terfaktor pada komponen struktur tekan akibat beban yang tidak menimbulkan goyangan ke samping.

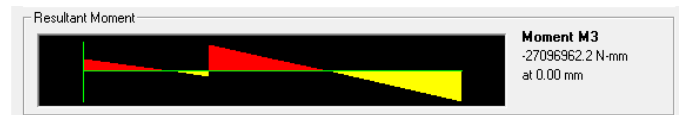
(SNI 03-2847-2013)

Momen akibat pengaruh gaya gempa

Momen arah sumbu X

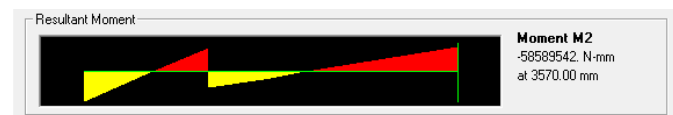


$$M_{2s} = 62785542,65 \text{ N.mm}$$

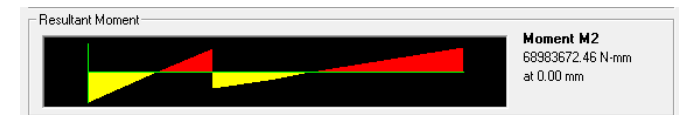


$$M_{1s} = 27096962,2 \text{ N.mm}$$

Momen arah sumbu Y



$$M_{2s} = 68983672,46 \text{ N.mm}$$



$$M_{1s} = 58589542 \text{ N.mm}$$

Momen akibat pengaruh beban gempa

$M_{1s}$  = momen akibat beban yang menimbulkan goyangan ke samping yang terkecil dalam N.mm  
(SNI 03-2847-2013)

$M_{2s}$  = momen akibat beban yang menimbulkan goyangan ke samping yang terbesar dalam N.mm  
(SNI 03-2847-2013)

Syarat gaya aksial pada kolom

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.2 gaya aksial terfaktor maksimum yang bekerja pada komponen struktur kolom tidak boleh lebih dari  $A_g \cdot f_c' / 10$  dan bila  $P_u$  lebih besar maka perhitungan harus mengikuti pasal 21.3.5 (ketentuan kolom untuk SRPMM)

$$A_g \cdot f_c' / 10 = (400 \times 400 \times 30) / 10 \\ = 480000 \text{ N}$$

$$P_u = 1691291,14 \text{ N}$$

$$P_u > A_g \cdot f_c' / 10$$

$$1691291,14 \text{ N} > 480000 \text{ N} \text{ (memenuhi)}$$

Kontrol kelangsingan kolom

$\beta_d$  = rasio beban aksial tetap terfaktor maksimum terhadap rasio beban aksial terfaktor maksimum

$$\beta_d = \frac{1,2D}{1,2D + 1,6L} \\ = (1308464,81 \text{ N}) / (1691291,14 \text{ N}) \\ = 0,7736$$

Panjang tekuk kolom

$$\Psi = \frac{\sum (EI/L)_{\text{kolom}}}{\sum (EI/L)_{\text{balok}}}$$

(SNI 03-2847-2013 Pasal 10.10.7)

Untuk kolom 40/40

$$E_{lk} = (0,4 \times E_c \times I_g) / (1 + \beta_d) \\ \text{(SNI 03-2847-2013 Pasal 10.10.6.1)}$$

$$I_g = 0,7 \times (1/12) \times b \times h^3$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,7 \times (1/12) \times 400 \times 400^3 \\
 &= 1493333333 \text{ mm}^4 \\
 E_c &= 4700 \sqrt{f_c'} \\
 &= 4700 \sqrt{30} \\
 &= 25742,96 \text{ N/mm}^2 \\
 E_{lk} &= (0,4 \times 25742,96 \times 1493333333) / (1+0,574) \\
 &= 9,769 \times 10^{12} \text{ N.mm}^2
 \end{aligned}$$

Untuk balok memanjang 25/45

$$E_{lb} = (0,4 \times E_c \times I_g) / (1 + \beta_d)$$

**(SNI 03-2847-2013 Pasal 10.10.6.1)**

$$\begin{aligned}
 I_g &= 0,35 \times (1/12) \times b \times h^3 \\
 &= 0,35 \times (1/12) \times 250 \times 450^3 \\
 &= 664453125 \text{ mm}^4 \\
 E_c &= 4700 \sqrt{f_c'} \\
 &= 4700 \sqrt{30} \\
 &= 25742,96 \text{ N/mm}^2 \\
 E_{lk} &= (0,4 \times 25742,96 \times 664453125) / (1+0,7736) \\
 &= 3,858 \times 10^{12} \text{ N.mm}^2
 \end{aligned}$$

Untuk balok melintang 25/45

$$E_{lb} = (0,4 \times E_c \times I_g) / (1 + \beta_d)$$

**(SNI 03-2847-2013 Pasal 10.10.6.1)**

$$\begin{aligned}
 I_g &= 0,35 \times (1/12) \times b \times h^3 \\
 &= 0,35 \times (1/12) \times 250 \times 450^3 \\
 &= 664453125 \text{ mm}^4 \\
 E_c &= 4700 \sqrt{f_c'} \\
 &= 4700 \sqrt{30} \\
 &= 25742,96 \text{ N/mm}^2 \\
 E_{lk} &= (0,4 \times 25742,96 \times 664453125) / (1+0,7736) \\
 &= 3,858 \times 10^{12} \text{ N.mm}^2
 \end{aligned}$$

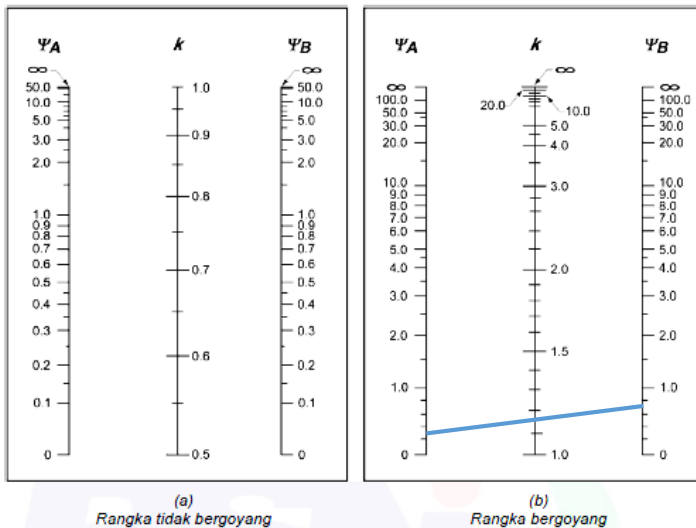
Untuk menentukan panjang tekuk kolom, akan diterapkan dengan menggunakan diagram factor panjang tekuk (k).

Kekakuan kolom atas

$$\Psi_A = \frac{\Sigma(EI/L)_{\text{kolom atas}}}{(EI/L)_{B1} + (EI/L)_{B1} + (EI/L)_{B1}} = 0,363$$

Kekakuan kolom bawah

$$\Psi_B = \frac{\Sigma(EI/L)_{\text{kolom bawah}}}{(EI/L)_{B1} + (EI/L)_{B1} + (EI/L)_{B1}} = 0,726$$



**Gambar 4.133.** Faktor Panjang Efektif (k)

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 10.10.7

Dari grafik alignment didapatkan  $k = 1,15$

Menghitung radius girasi (r)

Menurut SNI 03-2847-2013 pasal 10.10.1.2 radius girasi boleh diambil sebesar 0,3 dari dimensi

$$r = 0,3 \cdot h$$

$$r = 0,3 \times 400 \text{ mm}$$

$$= 120 \text{ mm}$$

Kontrol kelangsingan

Nilai  $\frac{k \times Lu}{r} \leq 22$  ; pengaruh kelangsingan diabaikan (termasuk kolom pendek)

Nilai  $\frac{k \times Lu}{r} > 22$  ; pengaruh kelangsingan diperhitungkan (termasuk kolom langsing)

$$= (1,5 \times 3570 \text{ mm}) / (120 \text{ mm})$$

$= 44,63 > 22$  , maka kolom termasuk **kolom langsing (SNI 03-2847-2013 pasal 10.10)**

Peninjauan kolom akibat momen arah X

Berdasarkan *output* SAP 2000, maka diperoleh hasil gaya-gaya dalam arah X pada kolom sebagai berikut :

Akibat kombinasi gempa (1,2D+1,0L+1,0E<sub>X</sub>+0,3E<sub>Y</sub>)

$$M_{2s} = 62785542,65 \text{ N.mm}$$

$$M_{1s} = 27096962,2 \text{ N.mm}$$

Akibat kombinasi 1,2D+1,6L+0,5L<sub>r</sub>

$$M_{2ns} = 32350484 \text{ N.mm}$$

$$M_{1ns} = 13339145,84 \text{ N.mm}$$

Menghitung nilai  $P_c$  (P kritis) pada kolom :

$$\begin{aligned} P_c &= (\pi^2 \times EI) / (k \times L_u) \\ &= (\pi^2 \times 5,0822 \times 10^{12}) / (1,15 \times 3570) \\ &= 1,222 \times 10^{10} \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Sigma P_c &= n \times P_c \\ &= 4 \times 1,222 \times 10^{10} \text{ N} \\ &= 4,887 \times 10^{10} \text{ N} \end{aligned}$$

$$P_u = 1691291,14 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} \Sigma P_u &= n \times P_u \\ &= 4 \times 1691291,14 \text{ N} \\ &= 6765164,56 \text{ N} \end{aligned}$$

Menghitung faktor pembesaran momen ( $\delta_s$ )

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{\Sigma P_u}{0,75 \cdot \Sigma P_c}} \geq 1,00$$

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{6765164,56}{0,75 \cdot (4,887 \times 10^{10})}} \geq 1,00$$

$$\delta_s = 1,0002 \geq 1,00$$

Maka dipakai  $\delta_s = 1,0002$  dalam perhitungan pembesaran momen.

Pembesaran momen :

$$\begin{aligned} M_1 &= M_{1ns} + \delta_s \cdot M_{1s} \\ &= 13339145,84 + 1,0002 \times 27096962,2 \\ &= 40441527,43 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_2 &= M_{2ns} + \delta_s \cdot M_{2s} \\ &= 32350484 + 1,0002 \times 62785542,65 \\ &= 95148583,76 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Diambil momen terbesar yaitu :

$$M_2 = 95148583,76 \text{ N.mm}$$

#### Menentukan $\rho_{\text{perlu}}$ dari diagram interaksi

Dalam menentukan nilai  $\rho_{\text{perlu}}$  untuk kebutuhan tulangan lentur kolom, digunakan diagram interaksi pada buku Tabel Grafik dan Diagram Interaksi untuk perhitungan struktur beton berdasarkan SNI. Keterangan yang dibutuhkan dalam penggunaan diagram interaksi adalah :

$$\begin{aligned} \mu_h &= h_{\text{kolom}} - (2 \cdot \text{decking}) - (2 \cdot \emptyset_{\text{geser}}) - D_{\text{lentur}} \\ &= 400 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - 22 \\ &= 278 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu &= \mu_h / h_{\text{kolom}} \\ &= 278/400 \\ &= 0,695 \approx 0,8 \end{aligned}$$

Sumbu vertical

$$\begin{aligned} (\phi \cdot P_n / A_g) &= (P_u / b \cdot h) \\ &= 1691291,14 / (400 \times 400) \\ &= 1,057 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

Sumbu horizontal

$$\begin{aligned} (\phi \cdot M_n / A_g \cdot h) &= (M_u / b \cdot h^2) \\ &= (95148583,76 / (400 \times 400^2)) \end{aligned}$$



$$= 1,49 \text{ N/mm}^2$$

Maka dari diagram interaksi kolom, didapatkan

$$\rho_{\text{perlu}} = 1\% = 0,01$$

### Menghitung penulangan kolom

luas tulangan lentur perlu

$$\begin{aligned} A_{s \text{ perlu}} &= \rho_{\text{perlu}} \times b \times h \\ &= 0,01 \times 400 \times 400 \text{ mm}^2 \\ &= 1600 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Luas tulangan lentur,

$$\begin{aligned} \text{Luas tulangan D22} &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 22^2 \\ &= 380,133 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tulangan lentur pasang

$$\begin{aligned} n &= A_{s \text{ perlu}} / \text{luas tulangan D19} \\ &= 1600 / 380,133 \\ &= 4,20 \approx 8 \text{ buah} \end{aligned}$$

Luas tulangan lentur pasang

$$\begin{aligned} A_{s \text{ pasang}} &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= 8 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 22^2 \\ &= 3041,062 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Maka direncanakan penulangan kolom untuk peninjauan momen arah X menggunakan tulangan sebesar 8D19.

$$\begin{aligned} \% \text{ tulangan} &= \frac{\text{luas tulangan terpasang}}{\text{luas bruto penampang kolom}} \times 100\% \\ &= \frac{3041,062}{400 \times 400} \times 100\% \\ &= 1,900\% < 8\% \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

### Mencari $e_{\text{perlu}}$ dan $e_{\text{min}}$

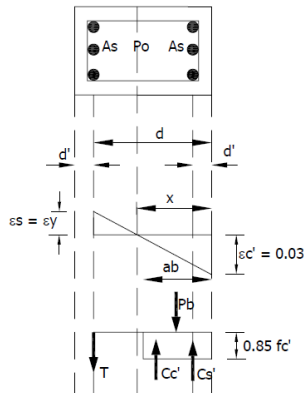
$$\begin{aligned} M_n &= M_u / 0,65 \\ &= 95148583,76 \text{ N.mm} / 0,65 \\ &= 146382436,6 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_n &= P_u / 0,65 \\ &= 1691291,14 \text{ N} / 0,65 \\ &= 2601986,369 \text{ N} \end{aligned}$$

$$e_{\text{perlu}} = M_n / P_n$$

$$\begin{aligned}
 &= 146382436,6 \text{ N.mm} / 2601986,369 \text{ N} \\
 &= 56,257 \text{ mm} \\
 e_{\min} &= (15,24 + 0,03 h) \\
 &= (15,24 + 0,03 \cdot 400 \text{ mm}) \\
 &= 27,24 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Cek kondisi *balance*



**Gambar 4.116.** Kondisi *balance*

Syarat :  $\epsilon_s = \epsilon_y \rightarrow f_s = f_y$

$$\begin{aligned}
 d &= b - \text{decking} - \emptyset \text{ sengkang} - \frac{1}{2} D.\text{tul.lentur} \\
 &= (400 - 40 - 10 - \frac{1}{2} \cdot 22) \text{ mm} \\
 &= 339 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d' &= \text{decking} + \emptyset \text{ sengkang} + \frac{1}{2} D.\text{tul.lentur} \\
 &= 40 \text{ mm} + 10 \text{ mm} + \frac{1}{2} \cdot 22 \text{ mm} \\
 &= 61 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d'' &= b - \text{decking} - \emptyset \text{ sengkang} - \frac{1}{2} D.\text{tul.lentur} - \frac{1}{2} b \\
 &= (400 - 40 - 10 - \frac{1}{2} (22) - \frac{1}{2} 400) \text{ mm} \\
 &= 139 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 X_b &= (600 / (600 + f_y)) \times d \\
 &= (600 / (600 + 400)) \times 339 \text{ mm} \\
 &= 203,4 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 A_b &= 0,85 \times X_b \\
 &= 0,85 \times 203,4 \text{ mm} \\
 &= 172,89 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_s' &= A_s' \cdot (f_y - 0,85 \cdot f_c') \\
 &= 3041,062 \times (400 - 0,85 \times 30) \\
 &= 1138877,719 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T &= A_s \cdot f_y \\
 &= 3041,062 \times 400 \\
 &= 1216424,8 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 C_c' &= 0,85 \times \beta_1 \times f_c' \times b \times X_b \\
 &= 0,85 \times 0,85 \times 30 \times 400 \times 203,4 \\
 &= 1763478 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Syarat,

$$\Sigma V = 0$$

$$\begin{aligned}
 P_b &= C_c' + C_s' - T \\
 &= 1763478 \text{ N} + 1138877,719 \text{ N} - 1216424,8 \text{ N} \\
 &= 1685930,919 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_b &= P_b \times e_b \\
 &= C_c' \left( d - d' - \frac{A_b}{2} \right) + C_s' (d - d'' - d') + T \cdot d'' \\
 &= (1763478 \times (339 - 61 - (172,89/2))) + \\
 &\quad (1138877,719 \times (339 - 139 - 61)) + (1216424,8 \times 139) \\
 &= 666953556,4 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 e_b &= M_b / P_b \\
 &= 666953556,4 \text{ N.mm} / 1685930,919 \text{ N} \\
 &= 395,599 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Kontrol kondisi :

$e_{min} < e_{perlu} < e_{balance}$  , kondisi tekan menentukan

$e_{min} < e_{perlu} > e_{balance}$ , kondisi tarik menentukan

$$e_{min} = 27,24 \text{ mm}$$

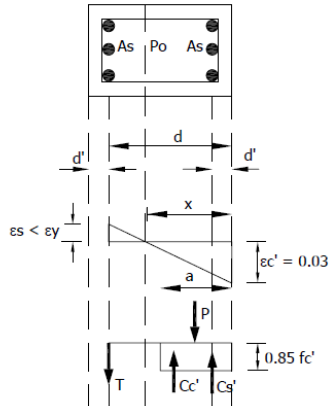
$$e_{perlu} = 95,121 \text{ mm}$$

$$e_{balance} = 359,599 \text{ mm}$$

$$e_{min} < e_{perlu} < e_{balance}$$

**25,74 mm < 95,121 mm < 359,599 mm (tekan menentukan)**

Kontrol kondisi tekan menentukan



**Gambar 4.117.** Kondisi Tekan Menentukan

Syarat,  $e < e_b$

95,121 mm < 359,599 mm (**oke**)

Mencari nilai  $x$  :

$$a = 0,54 \times d$$

$$0,85 \cdot x = 0,54 \times 339 \text{ mm}$$

$$x = 215,364 \text{ mm}$$

$$a = 0,85 \cdot x$$

$$= 0,85 \times 215,364 \text{ mm}$$

$$= 183,06 \text{ mm}$$

Syarat,  $\varepsilon_s < \varepsilon_y$ ,  $f_s < f_y$

$$\varepsilon_s = \left( \frac{d}{x} - 1 \right) \cdot 0,003$$

$$= ((339/215,364) - 1) \times 0,003$$

$$= 0,00172$$

$$f_s = \left( \frac{d}{x} - 1 \right) \cdot 600$$

$$= ((339/215,364) - 1) \times 600$$

$$= 344,45$$

$$\varepsilon_y = f_y / \varepsilon_s$$

$$= 400 \text{ Mpa} / 200000 \text{ Mpa}$$

$$= 0,002$$

Kontrol :

$$\varepsilon_s < \varepsilon_y$$

$$0,00172 < 0,002 \text{ ..... (Oke)}$$

$$f_s < f_y$$

$$344,45 \text{ Mpa} < 400 \text{ Mpa} \text{..... (Oke)}$$

$$C_s' = A_s' \cdot (f_y - 0,85 \cdot f_c')$$

$$= 3041,062 \times (400 - 0,85 \times 30)$$

$$= 1138877,719 \text{ N}$$

$$C_c' = 0,85 \times \beta_1 \times f_c' \times b \times X$$

$$= 0,85 \times 0,85 \times 30 \times 400 \times 215,364$$

$$= 1867205,88 \text{ N}$$

$$T = A_s \cdot \left( \frac{d}{x} - 1 \right) \cdot 600$$

$$= 3041,062 \times ((339/215,364) - 1) \times 600$$

$$= 1047486,325 \text{ N}$$

$$\Sigma V = 0$$

$$P_b = C_c' + C_s' - T$$

$$= 1867205,88 + 1138877,719 - 1047486,325$$

$$= 1958597,274 \text{ N}$$

Syarat,  $P > P_b$

$$1691291,14 \text{ N} > 1958597,274 \text{ N (Oke)}$$

$$M_n = C_c' \left( d - d' - \frac{a}{2} \right) + C_s' (d - d'' - d') + T \cdot d''$$

$$= (1867205,88 \times (339 - 61 - (183,06/2))) +$$

$$(1138877,719 \times (339 - 61 - 139)) + (1047486,325$$

$$\times 139)$$

$$= 653949688,4 \text{ N.mm}$$

Cek syarat :

$$M_n \text{ terpasang} > M_n$$

$$653949688,4 \text{ N.mm} > 146382436,6 \text{ N.mm (Oke)}$$

### Peninjauan kolom akibat momen arah Y

Berdasarkan *output* SAP 2000, maka diperoleh hasil gaya-gaya dalam arah X pada kolom sebagai berikut :

Akibat kombinasi gempa (1,2D+1,0L+1,0E<sub>X</sub>+0,3E<sub>Y</sub>)

$$M_{2s} = 68983672,46 \text{ N.mm}$$

$$M_{1s} = 58589542 \text{ N.mm}$$

Akibat kombinasi  $1,2D+1,6L+0,5Lr$

$$M_{2ns} = 91880476,94 \text{ N.mm}$$

$$M_{1ns} = 84586120 \text{ N.mm}$$

Menghitung nilai  $P_c$  (P kritis) pada kolom :

$$\begin{aligned} P_c &= (\pi^2 \times EI) / (k \times L_u) \\ &= (\pi^2 \times 5,0822 \times 10^{12}) / (1,15 \times 3570) \\ &= 1,222 \times 10^{10} \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Sigma P_c &= n \times P_c \\ &= 4 \times 1,222 \times 10^{10} \text{ N} \\ &= 4,887 \times 10^{10} \text{ N} \end{aligned}$$

$$P_u = 1691291,14 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} \Sigma P_u &= n \times P_u \\ &= 4 \times 1691291,14 \text{ N} \\ &= 6765164,56 \text{ N} \end{aligned}$$

Menghitung faktor pembesaran momen ( $\delta_s$ )

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{\Sigma P_u}{0,75 \cdot \Sigma P_c}} \geq 1,00$$

$$\delta_s = \frac{1}{1 - \frac{6765164,56}{0,75 \cdot (4,887 \times 10^{10})}} \geq 1,00$$

$$\delta_s = 1,0002 \geq 1,00$$

Maka dipakai  $\delta_s = 1,0002$  dalam perhitungan pembesaran momen.

Pembesaran momen :

$$\begin{aligned} M_1 &= M_{1ns} + \delta_s \cdot M_{1s} \\ &= 84586120 + 1,0002 \times 58589542 \\ &= 143187379,9 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_2 &= M_{2ns} + \delta_s \cdot M_{2s} \\ &= 91880476,94 + 1,0002 \times 68983672,46 \\ &= 160877946,1 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Diambil momen terbesar yaitu :

$$M_2 = 160877946,1 \text{ N.mm}$$

Menentukan  $\rho_{\text{perlu}}$  dari diagram interaksi

Dalam menentukan nilai  $\rho_{\text{perlu}}$  untuk kebutuhan tulangan lentur kolom, digunakan diagram interaksi pada buku Tabel Grafik dan Diagram Interaksi untuk perhitungan struktur beton berdasarkan SNI. Keterangan yang dibutuhkan dalam penggunaan diagram interaksi adalah :

$$\begin{aligned}\mu_h &= h_{\text{kolom}} - (2 \cdot \text{decking}) - (2 \cdot \emptyset_{\text{geser}}) - D_{\text{lentur}} \\ &= 400 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - 22 \\ &= 278 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\mu &= \mu_h / h_{\text{kolom}} \\ &= 278 / 400 \\ &= 0,695 \approx 0,8\end{aligned}$$

Sumbu vertical

$$\begin{aligned}(\phi \cdot P_n / A_g) &= (P_u / b \cdot h) \\ &= 1691291,14 / (400 \times 400) \\ &= 1,57 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

Sumbu horizontal

$$\begin{aligned}(\phi \cdot M_n / A_g \cdot h) &= (M_u / b \cdot h^2) \\ &= (160877946,1 / (400 \times 400^2)) \\ &= 0,251 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

Maka dari diagram interaksi kolom, didapatkan

$$\rho_{\text{perlu}} = 1\% = 0,01$$

Menghitung penulangan kolom

luas tulangan lentur perlu

$$\begin{aligned}A_{s \text{ perlu}} &= \rho_{\text{perlu}} \times b \times h \\ &= 0,01 \times 400 \times 400 \text{ mm}^2 \\ &= 1600 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Luas tulangan lentur

$$\begin{aligned}\text{Luas tulangan D19} &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 22^2 \\ &= 380,133 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Jumlah tulangan lentur pasang

$$\begin{aligned} n &= A_{s \text{ perlu}} / \text{luas tulangan D19} \\ &= 1600 / 380,133 \\ &= 4,20 \approx 8 \text{ buah} \end{aligned}$$

Luas tulangan lentur pasang

$$\begin{aligned} A_{s \text{ pasang}} &= n \times \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \\ &= 8 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 22^2 \\ &= 3041,062 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Maka direncanakan penulangan kolom untuk peninjauan momen arah X menggunakan tulangan sebesar 8D19.

$$\begin{aligned} \% \text{ tulangan} &= \frac{\text{luas tulangan terpasang}}{\text{luas bruto penampang kolom}} \times 100\% \\ &= \frac{3041,062}{400 \times 400} \times 100\% \\ &= 1,900\% < 8\% \text{ (memenuhi)} \end{aligned}$$

Mencari  $e_{\text{perlu}}$  dan  $e_{\text{min}}$

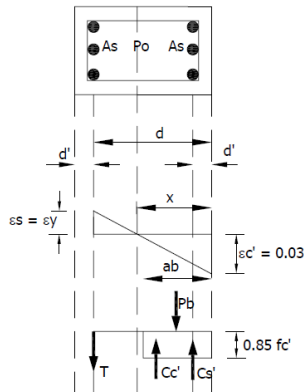
$$\begin{aligned} M_n &= M_u / 0,65 \\ &= 160877946,1 \text{ N.mm} / 0,65 \\ &= 247504532,5 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_n &= P_u / 0,65 \\ &= 1691291,14 \text{ N} / 0,65 \\ &= 2601986,369 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} e_{\text{perlu}} &= M_n / P_n \\ &= 247504532,5 \text{ N.mm} / 2601986,369 \text{ N} \\ &= 95,121 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} e_{\text{min}} &= (15,24 + 0,03 h) \\ &= (15,24 + 0,03 \cdot 400 \text{ mm}) \\ &= 27,24 \text{ mm} \end{aligned}$$



Cek kondisi *balance***Gambar 4.117.** Kondisi *balance*

Syarat :  $\epsilon_s = \epsilon_y \rightarrow f_s = f_y$

$$\begin{aligned} d &= b - \text{decking} - \emptyset \text{ sengkang} - \frac{1}{2} D. \text{tul. lentur} \\ &= (400 - 40 - 10 - \frac{1}{2} \cdot 22) \text{ mm} \\ &= 339 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d' &= \text{decking} + \emptyset \text{ sengkang} + \frac{1}{2} D. \text{tul. lentur} \\ &= 40 \text{ mm} + 10 \text{ mm} + \frac{1}{2} \cdot 22 \text{ mm} \\ &= 61 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d'' &= b - \text{decking} - \emptyset \text{ sengkang} - \frac{1}{2} D. \text{tul. lentur} - \frac{1}{2} b \\ &= (400 - 40 - 10 - \frac{1}{2} (22) - \frac{1}{2} 400) \text{ mm} \\ &= 139 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X_b &= (600 / (600 + f_y)) \times d \\ &= (600 / (600 + 400)) \times 339 \text{ mm} \\ &= 203,4 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_b &= 0,85 \times X_b \\ &= 0,85 \times 203,4 \text{ mm} \\ &= 172,89 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_s' &= A_s' \cdot (f_y - 0,85 \cdot f_c') \\ &= 3041,062 \times (400 - 0,85 \times 30) \\ &= 1138877,719 \text{ N} \end{aligned}$$

$$T = A_s \cdot f_y$$

$$\begin{aligned}
 &= 3041,062 \times 400 \\
 &= 1216424,8 \text{ N} \\
 Cc' &= 0,85 \times \beta_1 \times f_c' \times b \times X_b \\
 &= 0,85 \times 0,85 \times 30 \times 400 \times 203,4 \\
 &= 1763478 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Syarat,

$$\Sigma V = 0$$

$$\begin{aligned}
 P_b &= Cc' + Cs' - T \\
 &= 1763478 \text{ N} + 1138877,719 \text{ N} - 1216424,8 \text{ N} \\
 &= 1685930,919 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_b &= P_b \times e_b \\
 &= Cc' \left( d - d' - \frac{A_b}{2} \right) + Cs' (d - d'' - d') + T \cdot d'' \\
 &= (1763478 \times (339 - 61 - (172,89/2))) + \\
 &\quad (1138877,719 \times (339 - 139 - 61)) + (1216424,8 \times 139) \\
 &= 666953556,4 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 e_b &= M_b / P_b \\
 &= 666953556,4 \text{ N.mm} / 1685930,919 \text{ N} \\
 &= 395,599 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Kontrol kondisi :

$e_{\min} < e_{\text{perlu}} < e_{\text{balance}}$  , kondisi tekan menentukan

$e_{\min} < e_{\text{perlu}} > e_{\text{balance}}$ , kondisi tarik menentukan

$$e_{\min} = 27,24 \text{ mm}$$

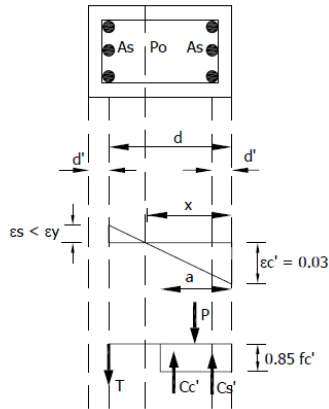
$$e_{\text{perlu}} = 95,121 \text{ mm}$$

$$e_{\text{balance}} = 359,599 \text{ mm}$$

$$e_{\min} < e_{\text{perlu}} < e_{\text{balance}}$$

**25,74 mm < 95,121 mm < 359,599 mm (tekan menentukan)**

Kontrol kondisi tekan menentukan



**Gambar 4.118.** Kondisi Tekan Menentukan

Syarat,  $e < e_b$

95,121 mm < 359,599 mm (**oke**)

Mencari nilai  $x$  :

$$a = 0,54 \times d$$

$$0,85 \cdot x = 0,54 \times 339 \text{ mm}$$

$$x = 215,364 \text{ mm}$$

$$a = 0,85 \cdot x$$

$$= 0,85 \times 215,364 \text{ mm}$$

$$= 183,06 \text{ mm}$$

Syarat,  $\epsilon_s < \epsilon_y$ ,  $f_s < f_y$

$$\epsilon_s = \left( \frac{d}{x} - 1 \right) \cdot 0,003$$

$$= ((339/215,364) - 1) \times 0,003$$

$$= 0,00172$$

$$f_s = \left( \frac{d}{x} - 1 \right) \cdot 600$$

$$= ((339/215,364) - 1) \times 600$$

$$= 344,45$$

$$\epsilon_y = f_y / \epsilon_s$$

$$= 400 \text{ Mpa} / 200000 \text{ Mpa}$$

$$= 0,002$$

Kontrol :

$$\varepsilon_s < \varepsilon_y$$

$$0,00172 < 0,002 \text{ ..... (Oke)}$$

$$f_s < f_y$$

$$344,45 \text{ Mpa} < 400 \text{ Mpa..... (Oke)}$$

$$\begin{aligned} C_s' &= A_s' \cdot (f_y - 0,85 \cdot f_c') \\ &= 3041,062 \times (400 - 0,85 \times 30) \\ &= 1138877,719 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_c' &= 0,85 \times \beta_1 \times f_c' \times b \times X \\ &= 0,85 \times 0,85 \times 30 \times 400 \times 215,364 \\ &= 1867205,88 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T &= A_s \cdot \left( \frac{d}{x} - 1 \right) \cdot 600 \\ &= 3041,062 \times ((339/215,364) - 1) \times 600 \\ &= 1047486,325 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\Sigma V = 0$$

$$\begin{aligned} P_b &= C_c' + C_s' - T \\ &= 1867205,88 + 1138877,719 - 1047486,325 \\ &= 1958597,274 \text{ N} \end{aligned}$$

Syarat,  $P > P_b$

$$1691291,14 \text{ N} > 1958597,274 \text{ N (Oke)}$$

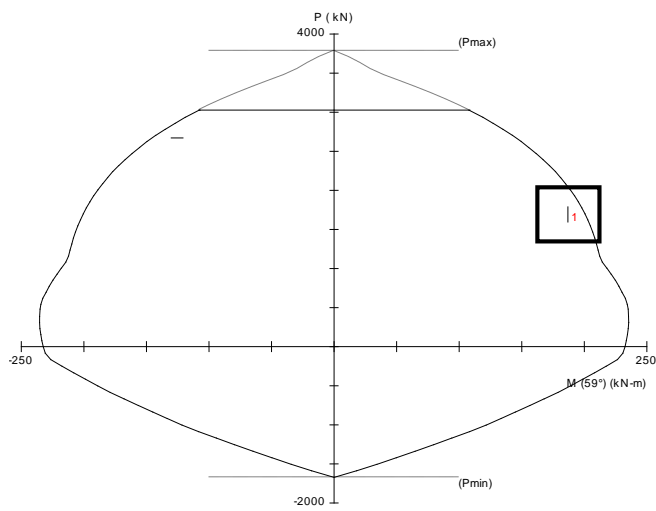
$$\begin{aligned} M_n &= C_c' \left( d - d' - \frac{a}{2} \right) + C_s' (d - d'' - d') + T \cdot d'' \\ &= (1867205,88 \times (339 - 61 - (183,06/2))) + \\ &\quad (1138877,719 \times (339 - 61 - 139)) + (1047486,325 \times 139) \\ &= 653949688,4 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

Cek syarat :

$$M_n \text{ terpasang} > M_n$$

$$653949688,4 \text{ N.mm} > 160877946,1 \text{ N.mm (Oke)}$$

Sehingga diagram interaksi kolom K2 40/40 dapat dibuat melalui *software* PCAcolumnn, dengan hasil sebagai berikut :



**Gambar 4.134.** Hasil Diagram Interaksi Kolom K2 40 x 40 (PCAColumn)

Berdasarkan hasil *pcaColoumn*, apabila menggunakan jumlah tulangan longitudinal 8D22 tidak mencukupi kapasitas momen penampangnya. Sehingga digunakan jumlah tulangan 12D22 yang sudah dianalisa dengan program *pcaColoumn*.

Layout: Rectangular  
Pattern: All Sides Equal (Cover to longitudinal reinforcement)  
Total steel area, As = 4645 mm<sup>2</sup> at 2.90%  
12 #7 Cover = 40 mm

Factored Loads and Moments with Corresponding Capacities: (see user's manual for notation)

No.	Pu kN	Mux kN-m	Muy kN-m	fMnx kN-m	fMny kN-m	fMn/Mu
1	1691.3	95.1	160.9	102.3	173.0	1.075

**Gambar 4.135.** Hasil Analisis Kolom K2 dengan *pcaColoumn*

Berdasarkan *output* dari *pcaColoumn*

$M_{ux}$

= 95,1 kN.m

$M_{uy}$

= 160,9 kN.m

$M_{nx}$

= 102,3 kN.m

$$M_{ny} = 173,0 \text{ kN.m}$$

Dengan syarat,

$$M_{ux} < M_{nx}$$

$$95,1 \text{ kN.m} < 102,3 \text{ kN.m} \text{ (**memenuhi**)}$$

$$M_{uy} < M_{ny}$$

$$160,9 \text{ kN.m} < 173,0 \text{ kN.m} \text{ (**memenuhi**)}$$

Maka perencanaan dipasang tulangan kolom sebanyak 12D22. Presentase tulangan terpasang :

$$\begin{aligned} A_s \text{ pasang} &= 12 \times 0,25 \times \pi \times 22^2 \\ &= 4561,5925 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

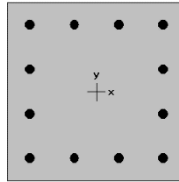
Cek persyaratan :

$$\begin{aligned} \% \text{ tulangan} &= \frac{\text{luas tulangan terpasang}}{\text{luas bruto penampang kolom}} \times 100\% \\ &= \frac{4561,5925}{400 \times 400} \times 100\% \\ &= 2,85\% < 8\% \text{ (**memenuhi**)} \end{aligned}$$

### **Kesimpulan :**

Jika kapasitas momen yang dihasilkan oleh analisis program pcacol lebih besar daripada momen ultimate perhitungan manual ( $M_u$  manual) oleh penampang kolom dan tulangannya, maka perhitungan kebutuhan tulangan kolom memenuhi dalam artian kolom tidak mengalami keruntuhan.

Sehingga kolom dipasang berdasarkan penulangan lentur terbesar, yaitu pada sumbu X maka dipasang sebesar 12D22 dengan model pemasangan tulangan sebagai berikut :



**Gambar 4.136.** Penampang Kolom K2

Kontrol jarak spasi tulangan satu sisi :

Syarat :

$S_{\max} \geq S_{\text{sejajar}}$ , tulangan susun 1 lapis

$S_{\max} \leq S_{\text{sejajar}}$ , perbesar penampang kolom

$$S_{\max} = \frac{b - (2 \times t_{\text{selimut}}) - (2 \times \phi_{\text{geser}}) - (n \times D_{\text{lentur}})}{n - 1}$$

$$S_{\max} = \frac{400 - (2 \times 40) - (2 \times 10) - (4 \times 22)}{4 - 1}$$

$$S_{\max} = 70,67 \text{ mm}$$

$$S_{\max} = 70,67 \text{ mm} > 40 \text{ mm (memenuhi)}$$

Karena jumlah tulangan yang dipasang 12D22 maka analisis kondisi kolom diperhitungkan kembali seperti di bawah ini :

Terhadap sumbu X

$$M_u = 95148583,76 \text{ N.mm}$$

$$A_s \text{ pasang} = 12 \times 0,25 \times \pi \times 22^2$$

$$= 4561,5925 \text{ mm}^2$$

Mencari  $e_{\text{perlu}}$  dan  $e_{\text{min}}$

$$M_n = M_u / 0,65$$

$$= 95148583,76 \text{ N.mm} / 0,65$$

$$= 146382436,6 \text{ N.mm}$$

$$P_n = P_u / 0,65$$

$$= 1691291,14 \text{ N} / 0,65$$

$$= 2601986,369 \text{ N}$$

$$e_{\text{perlu}} = M_n / P_n$$

$$= 146382436,6 \text{ N.mm} / 2601986,369 \text{ N}$$

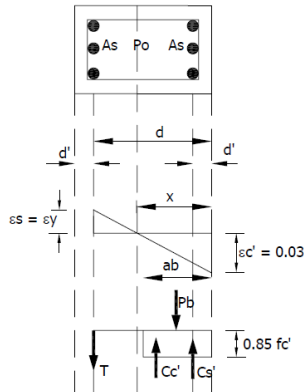
$$= 56,430 \text{ mm}$$

$$e_{\text{min}} = (15,24 + 0,03 h)$$

$$= (15,24 + 0,03 \cdot 400 \text{ mm})$$

$$= 27,24 \text{ mm}$$

Cek kondisi *balance*



**Gambar 4.117.** Kondisi *balance*

Syarat :  $\epsilon_s = \epsilon_y \rightarrow f_s = f_y$

$$\begin{aligned} d &= b - \text{decking} - \emptyset \text{ sengkang} - \frac{1}{2} D. \text{tul. lentur} \\ &= (400 - 40 - 10 - \frac{1}{2} \cdot 22) \text{ mm} \\ &= 339 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d' &= \text{decking} + \emptyset \text{ sengkang} + \frac{1}{2} D. \text{tul. lentur} \\ &= 40 \text{ mm} + 10 \text{ mm} + \frac{1}{2} \cdot 22 \text{ mm} \\ &= 61 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d'' &= b - \text{decking} - \emptyset \text{ sengkang} - \frac{1}{2} D. \text{tul. lentur} - \frac{1}{2} b \\ &= (400 - 40 - 10 - \frac{1}{2} (22) - \frac{1}{2} 400) \text{ mm} \\ &= 139 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X_b &= (600 / (600 + f_y)) \times d \\ &= (600 / (600 + 400)) \times 339 \text{ mm} \\ &= 203,4 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_b &= 0,85 \times X_b \\ &= 0,85 \times 203,4 \text{ mm} \\ &= 172,89 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_s' &= A_s' \cdot (f_y - 0,85 \cdot f_c') \\ &= 4561,5925 \times (400 - 0,85 \times 30) \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 &= 1708316,391 \text{ N} \\
 T &= A_s \cdot f_y \\
 &= 4561,5925 \times 400 \\
 &= 1824770 \text{ N} \\
 Cc' &= 0,85 \times \beta_1 \times f_c' \times b \times X_b \\
 &= 0,85 \times 0,85 \times 30 \times 400 \times 203,4 \\
 &= 1763478 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Syarat,

$$\Sigma V = 0$$

$$\begin{aligned}
 P_b &= Cc' + Cs' - T \\
 &= 1763478 \text{ N} + 1708316,391 \text{ N} - 1824770 \text{ N} \\
 &= 1647024,391 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_b &= P_b \times e_b \\
 &= C_c' \left( d - d' - \frac{A_b}{2} \right) + C_s'(d - d'' - d') + T \cdot d'' \\
 &= (1763478 \times (339 - 61 - (172,89/2))) + \\
 &\quad (1708316,391 \times (339 - 139 - 61)) + (1824770 \times 139) \\
 &= 828902036,6 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 e_b &= M_b / P_b \\
 &= 828902036,6 \text{ N.mm} / 1647024,391 \text{ N} \\
 &= 503,272 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Kontrol kondisi :

$e_{min} < e_{perlu} < e_{balance}$  , kondisi tekan menentukan

$e_{min} < e_{perlu} > e_{balance}$ , kondisi tarik menentukan

$$e_{min} = 27,24 \text{ mm}$$

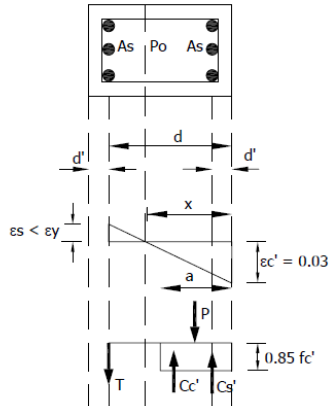
$$e_{perlu} = 56,430 \text{ mm}$$

$$e_{balance} = 503,272 \text{ mm}$$

$$e_{min} < e_{perlu} < e_{balance}$$

**25,74 mm < 56,430 mm < 503,272 mm (tekan menentukan)**

Kontrol kondisi tekan menentukan



**Gambar 4.116.** Kondisi Tekan Menentukan

Syarat,  $e < e_b$

56,430 mm < 503,272 mm (**oke**)

Mencari nilai  $x$  :

$$a = 0,54 \times d$$

$$0,85 \cdot x = 0,54 \times 339 \text{ mm}$$

$$x = 215,364 \text{ mm}$$

$$a = 0,85 \cdot x$$

$$= 0,85 \times 215,364 \text{ mm}$$

$$= 183,06 \text{ mm}$$

Syarat,  $\varepsilon_s < \varepsilon_y$ ,  $f_s < f_y$

$$\varepsilon_s = \left( \frac{d}{x} - 1 \right) \cdot 0,003$$

$$= ((339/215,364) - 1) \times 0,003$$

$$= 0,00172$$

$$f_s = \left( \frac{d}{x} - 1 \right) \cdot 600$$

$$= ((339/215,364) - 1) \times 600$$

$$= 344,45$$

$$\varepsilon_y = f_y / E_s$$

$$= 400 \text{ Mpa} / 200000 \text{ Mpa}$$

$$= 0,002$$

Kontrol :

$$\varepsilon_s < \varepsilon_y$$

$$0,00172 < 0,002 \text{ ..... (Oke)}$$

$$f_s < f_y$$

$$344,45 \text{ Mpa} < 400 \text{ Mpa} \text{..... (Oke)}$$

$$C_s' = A_s' \cdot (f_y - 0,85 \cdot f_c')$$

$$= 4561,5925 \times (400 - 0,85 \times 30)$$

$$= 1708316,391 \text{ N}$$

$$C_c' = 0,85 \times \beta_1 \times f_c' \times b \times X$$

$$= 0,85 \times 0,85 \times 30 \times 400 \times 215,364$$

$$= 1867205,88 \text{ N}$$

$$T = A_s \cdot \left( \frac{d}{x} - 1 \right) \cdot 600$$

$$= 4561,5925 \times ((339/215,364) - 1) \times 600$$

$$= 1571229,315 \text{ N}$$

$$\Sigma V = 0$$

$$P_b = C_c' + C_s' - T$$

$$= 1867205,88 + 1708316,391 - 1571229,315$$

$$= 2004292,955 \text{ N}$$

Syarat,  $P > P_b$

$$1691291,14 \text{ N} < 2004292,955 \text{ N (Oke)}$$

$$M_n = C_c' \left( d - d' - \frac{a}{2} \right) + C_s' (d - d'' - d') + T \cdot d''$$

$$= (1867205,88 \times (339 - 61 - (183,06/2))) +$$

$$(1708316,391 \times (339 - 61 - 139)) + (1571229,315 \times 139)$$

$$= 805901939,5 \text{ N.mm}$$

Cek syarat :

$$M_n \text{ terpasang} > M_n$$

$$805901939,5 \text{ N.mm} > 146382436,6 \text{ N.mm (Oke)}$$

Terhadap sumbu Y

$$M_u = 160877946,1 \text{ N.mm}$$

$$A_s \text{ pasang} = 12 \times 0,25 \times \pi \times 22^2$$

$$= 4561,5925 \text{ mm}^2$$

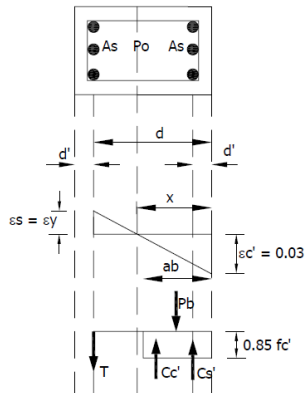
$$\begin{aligned} M_n &= M_u/0,65 \\ &= 160877946,1 \text{ N.mm}/0,65 \\ &= 247504532,5 \text{ N.mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_n &= P_u/0,65 \\ &= 1691291,14 \text{ N}/0,65 \\ &= 2601986,369 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} e_{\text{perlu}} &= M_n/P_n \\ &= 247504532,5 \text{ N.mm}/ 2601986,369 \text{ N} \\ &= 95,121 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} e_{\text{min}} &= (15,24 + 0,03 h) \\ &= (15,24 + 0,03.400 \text{ mm}) \\ &= 27,24 \text{ mm} \end{aligned}$$

#### Cek kondisi *balance*



**Gambar 4.117.** Kondisi *balance*

Syarat :  $\epsilon_s = \epsilon_y \rightarrow f_s = f_y$

$$\begin{aligned} d &= b - \text{decking} - \varnothing \text{ sengkang} - \frac{1}{2} D.\text{tul.lentur} \\ &= (400 - 40 - 10 - \frac{1}{2} .22) \text{ mm} \\ &= 339 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$d' = \text{decking} + \varnothing \text{ sengkang} + \frac{1}{2} .D.\text{tul.lentur}$$

$$\begin{aligned}
&= 40 \text{ mm} + 10 \text{ mm} + \frac{1}{2} \cdot 22 \text{ mm} \\
&= 61 \text{ mm} \\
d'' &= b - \text{decking} - \emptyset \text{ sengkang} - \frac{1}{2} D_{\text{tul.lentur}} - \frac{1}{2} b \\
&= (400 - 40 - 10 - \frac{1}{2} (22) - \frac{1}{2} 400) \text{ mm} \\
&= 139 \text{ mm} \\
X_b &= (600 / (600 + f_y)) \times d \\
&= (600 / (600 + 400)) \times 339 \text{ mm} \\
&= 203,4 \text{ mm} \\
A_b &= 0,85 \times X_b \\
&= 0,85 \times 203,4 \text{ mm} \\
&= 172,89 \text{ mm} \\
C_s' &= A_s' \cdot (f_y - 0,85 \cdot f_c') \\
&= 4561,5925 \times (400 - 0,85 \times 30) \\
&= 1708316,391 \text{ N} \\
T &= A_s \cdot f_y \\
&= 4561,5925 \times 400 \\
&= 1824770 \text{ N} \\
C_c' &= 0,85 \times \beta_1 \times f_c' \times b \times X_b \\
&= 0,85 \times 0,85 \times 30 \times 400 \times 203,4 \\
&= 1763478 \text{ N} \\
\text{Syarat,} \\
\Sigma V &= 0 \\
P_b &= C_c' + C_s' - T \\
&= 1763478 \text{ N} + 1708316,391 \text{ N} - 1824770 \text{ N} \\
&= 1647024,391 \text{ N} \\
M_b &= P_b \times e_b \\
&= C_c' \left( d - d' - \frac{A_b}{2} \right) + C_s' (d - d'' - d') + T \cdot d'' \\
&= (1763478 \times (339 - 61 - (172,89/2))) + \\
&\quad (1708316,391 \times (339 - 139 - 61)) + (1824770 \times 139) \\
&= 828902036,6 \text{ N.mm} \\
e_b &= M_b / P_b \\
&= 828902036,6 \text{ N.mm} / 1647024,391 \text{ N} \\
&= 503,272 \text{ mm}
\end{aligned}$$

Kontrol kondisi :

$e_{\min} < e_{\text{perlu}} < e_{\text{balance}}$  , kondisi tekan menentukan

$e_{\min} < e_{\text{perlu}} > e_{\text{balance}}$ , kondisi tarik menentukan

$$e_{\min} = 27,24 \text{ mm}$$

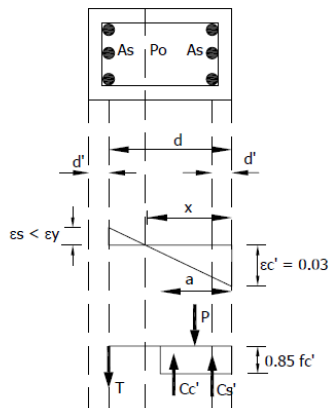
$$e_{\text{perlu}} = 95,121 \text{ mm}$$

$$e_{\text{balance}} = 503,272 \text{ mm}$$

$$e_{\min} < e_{\text{perlu}} < e_{\text{balance}}$$

25,74 mm < 95,121 mm < 503,272 mm **(tekan menentukan)**

Kontrol kondisi tekan menentukan



**Gambar 4.116.** Kondisi Tekan Menentukan

Syarat,  $e < e_b$

$$56,430 \text{ mm} < 503,272 \text{ mm} \text{ (oke)}$$

Mencari nilai  $x$  :

$$a = 0,54 \times d$$

$$0,85 \cdot x = 0,54 \times 339 \text{ mm}$$

$$x = 215,364 \text{ mm}$$

$$a = 0,85 \cdot x$$

$$= 0,85 \times 215,364 \text{ mm}$$

$$= 183,06 \text{ mm}$$

Syarat,  $\varepsilon_s < \varepsilon_y$ ,  $f_s < f_y$

$$\begin{aligned}\varepsilon_s &= \left(\frac{d}{x} - 1\right) \cdot 0,003 \\ &= ((339/215,364) - 1) \times 0,003 \\ &= 0,00172\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}f_s &= \left(\frac{d}{x} - 1\right) \cdot 600 \\ &= ((339/215,364) - 1) \times 600 \\ &= 344,45\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\varepsilon_y &= f_y / \varepsilon_s \\ &= 400 \text{ Mpa} / 200000 \text{ Mpa} \\ &= 0,002\end{aligned}$$

Kontrol :

$$\varepsilon_s < \varepsilon_y$$

$$0,00172 < 0,002 \dots\dots\dots \textbf{(Oke)}$$

$$f_s < f_y$$

$$344,45 \text{ Mpa} < 400 \text{ Mpa} \dots\dots \textbf{(Oke)}$$

$$\begin{aligned}C_s' &= A_s' \cdot (f_y - 0,85 \cdot f_c') \\ &= 4561,5925 \times (400 - 0,85 \times 30) \\ &= 1708316,391 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}C_c' &= 0,85 \times \beta_1 \times f_c' \times b \times X \\ &= 0,85 \times 0,85 \times 30 \times 400 \times 215,364 \\ &= 1867205,88 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}T &= A_s \cdot \left(\frac{d}{x} - 1\right) \cdot 600 \\ &= 4561,5925 \times ((339/215,364) - 1) \times 600 \\ &= 1571229,315 \text{ N}\end{aligned}$$

$$\Sigma V = 0$$

$$\begin{aligned}P_b &= C_c' + C_s' - T \\ &= 1867205,88 + 1708316,391 - 1571229,315 \\ &= 2004292,955 \text{ N}\end{aligned}$$

Syarat,  $P > P_b$

$$1691291,14 \text{ N} > 2004292,955 \text{ N} \textbf{(Oke)}$$

$$M_n = C_c' \left(d - d' - \frac{a}{2}\right) + C_s'(d - d'' - d') + T \cdot d''$$

$$\begin{aligned}
 &= (1867205,88 \times (339 - 61 - (183,06/2))) + \\
 &\quad (1708316,391 \times (339 - 61 - 139)) + (1571229,315 \\
 &\quad \times 139) \\
 &= 805901939,5 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$

Cek syarat :

$$M_n \text{ terpasang} > M_n$$

$$805901939,5 \text{ N.mm} > 160877946,1 \text{ N.mm (Oke)}$$

#### 4.5.2.2. Perhitungan Penulangan Geser Kolom K2

Data perencanaan

H kolom = 400 mm

B kolom = 400 mm

Tebal selimut beton = 40 mm

Tinggi kolom = 3570 mm

Mutu beton ( $f_c'$ ) = 30 Mpa

Kuat leleh tulangan lentur ( $f_y$ ) = 400 Mpa

Kuat leleh tulangan geser ( $f_{yv}$ ) = 320 Mpa

Diameter tulangan lentur = D22

Diameter tulangan geser = Ø10

Factor reduksi = 0,75

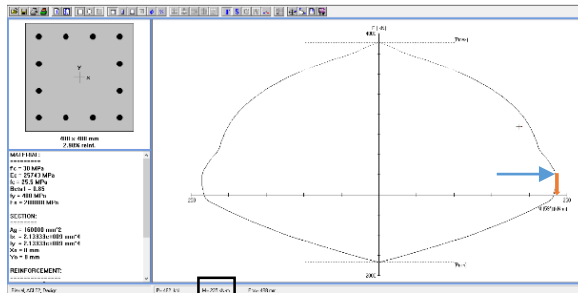
**(SNI 03-2487-2013 Pasal 11.3.2.(3))**

Berdasarkan hasil *output* program SAP 2000, maka diperoleh hasil gaya pada kolom K1 sebagai berikut :

$$P_u = 1691291,14 \text{ N}$$

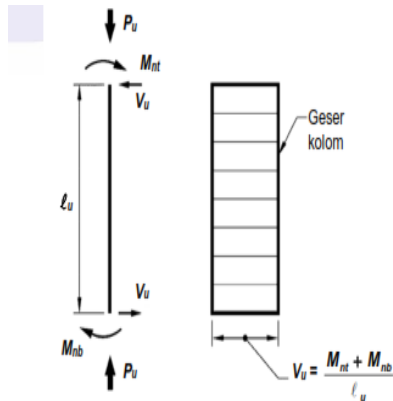
Gaya lintang rencana pada kolom untuk peninjauan SRPMM diambil dari hasil PCAColumn sebagai berikut :





**Gambar 4.137.** Gaya Lintang Rencana untuk SRPMM

$$\begin{aligned}
 M_{ut} &= 235 \text{ kN.m} \\
 &= 235000000 \text{ N.mm} \\
 M_{ub} &= 235 \text{ kN.m} \\
 &= 235000000 \text{ N.mm}
 \end{aligned}$$



**Gambar 4.122.** Gaya Lintang Rencana untuk SRPMM

$$V_u = \frac{M_{nt} + M_{nb}}{L_u} \text{ (SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.5)}$$

Dimana :

$M_{nt}$  = momen nominal atas kolom

$M_{nb}$  = momen nominal bawah kolom

$$\begin{aligned}
 M_{nt} &= M_{ut}/\phi \\
 &= 235000000/0,75 \\
 &= 313333333,3 \text{ N.mm} \\
 M_{nb} &= M_{ub}/\phi \\
 &= 235000000/0,75 \\
 &= 313333333,3 \text{ N.mm} \\
 V_u &= \frac{313333333,3 + 313333333,3}{3570} \\
 &= 175536,8814 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Syarat kuat tekan beton ( $f'_c$ )

Nilai  $\sqrt{f'_c}$  yang digunakan tidak boleh melebihi 25/3 Mpa.  
(SNI 03-2847-2013)

$$\sqrt{30} \leq 25/3$$

$$5,477 \text{ N/mm}^2 \leq 8,33 \text{ N/mm}^2 \text{ (memenuhi)}$$

Kekuatan geser pada beton

$$V_c = 0,17 \cdot \left[ 1 + \frac{N_u}{14 \times A_g} \right] \times \lambda \times \sqrt{f'_c} \times b_w \times d$$

$$V_c = 0,17 \cdot \left[ 1 + \frac{1691291,14}{14 \times 160000} \right] \times 1 \times \sqrt{30} \times 400 \times 339$$

$$V_c = 221593,1992 \text{ N}$$

Kuat geser tulangan :

$$\begin{aligned}
 V_{S \min} &= 0,33 \times b \times d \\
 &= 0,33 \times 400 \times 339 \\
 &= 44748 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_{S \max} &= 0,33 \times \sqrt{f'_c} \times b \times d \\
 &= 0,33 \times \sqrt{30} \times 400 \times 339 \\
 &= 245094,89 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 2. V_{S \max} &= 0,66 \times \sqrt{f'_c} \times b \times d \\
 &= 0,66 \times \sqrt{30} \times 400 \times 339 \\
 &= 490189,7801 \text{ N}
 \end{aligned}$$

### Kondisi 1

$V_u \leq 0,5 \phi V_c$ , tidak perlu tulangan geser

$$V_u = 175536,8814 \text{ N}$$

$$0,5 \cdot \phi \cdot V_c = 0,5 \cdot (0,75) \cdot (221593,1992)$$

$$= 83097,4497 \text{ N}$$

$$175536,8814 \text{ N} > 83097,4497 \text{ N} \text{ (**Tidak memenuhi**)}$$

#### Kondisi 2

$$0,5 \phi V_C \leq V_U \leq \phi \cdot V_C, \text{ tulangan geser}$$

$$0,5 \cdot \phi \cdot V_C = 0,5 \cdot (0,75) \cdot (221593,1992)$$

$$= 83097,4497 \text{ N}$$

$$\phi \cdot V_C = (0,75) \cdot (221593,1992)$$

$$= 166194,8994 \text{ N}$$

$$V_U = 175536,8814 \text{ N}$$

$$83097,4497 \text{ N} \leq 175536,8814 \text{ N} > 166194,8994 \text{ N} \text{ (**Tidak memenuhi**)}$$

#### Kondisi 3

$$\phi \cdot V_C \leq V_U \leq \phi \cdot (V_C + V_{S \min}), \text{ tulangan geser}$$

$$\phi \cdot V_C = (0,75) \cdot (221593,1992)$$

$$= 166194,8994 \text{ N}$$

$$\phi \cdot (V_C + V_{S \min}) = 0,75 \cdot (221593,1992 + 44748)$$

$$= 199755,8994 \text{ N}$$

$$V_U = 175536,8814 \text{ N}$$

$$166194,8994 \text{ N} \leq 175536,8814 \text{ N} < 199755,8994 \text{ N} \text{ (**memenuhi**)}$$

#### Kondisi 4

$$\phi \cdot (V_C + V_{S \min}) \leq V_U \leq \phi \cdot (V_C + V_{S \max}), \text{ tulangan geser}$$

$$\phi \cdot (V_C + V_{S \min}) = 0,75 \cdot (221593,1992 + 44748)$$

$$= 199755,8994 \text{ N}$$

$$\phi \cdot (V_C + V_{S \max}) = 0,75 \cdot (221593,1992 + 245094,89)$$

$$= 350016,0669 \text{ N}$$

$$V_U = 175536,8814 \text{ N}$$

$$199755,8994 \text{ N} > 175536,8814 \text{ N} < 350016,0669 \text{ N} \text{ (**Tidak memenuhi**)}$$

#### Kondisi 5

$$\phi \cdot (V_C + V_{S \max}) \leq V_U \leq \phi \cdot (V_C + 2 \cdot V_{S \max}), \text{ tulangan geser}$$

$$\phi \cdot (V_C + V_{S \max}) = 0,75 \cdot (221593,1992 + 245094,89)$$

$$= 350016,0669 \text{ N}$$

$$\phi \cdot (V_C + 2V_{S \max}) = 0,75 \cdot (221593,1992 + 490189,7801)$$

$$= 533837,2345 \text{ N}$$

$$V_U = 175536,8814 \text{ N}$$

$$350016,0669 \text{ N} > 175536,8814 \text{ N} \leq 533837,2345 \text{ N}$$

**(Tidak memenuhi)**

Maka perencanaan penulangan geser kolom diambil berdasarkan **kondisi 3**.

Jarak tulangan geser perlu ( $S_{\text{perlu}}$ )

$$V_{S \text{ perlu}} = \frac{V_u - \phi \cdot V_c}{\phi}$$

$$= \frac{175536,8841 - (0,75) \cdot (221593,1992)}{0,75}$$

$$= 12455,9796 \text{ N}$$

Direncanakan menggunakan tulangan geser Ø10 mm dengan 2 kaki, maka luasan tulangan geser :

$$A_v = (0,25 \times \pi \times \emptyset^2) \times n_{\text{kaki}}$$

$$= 0,25 \times \pi \times 10^2 \times 2$$

$$= 157,88 \text{ mm}^2$$

Jarak tulangan geser perlu ( $S_{\text{perlu}}$ )

$$S_{\text{perlu}} = \frac{A_v \times f_{yv} \times d}{V_{S \text{ perlu}}}$$

$$= \frac{(157,88) \times (320) \times (339)}{12455,9796}$$

$$= 1374,987 \text{ mm}$$

Kontrol jarak spasi tulangan geser berdasarkan kondisi 3

$$S_{\text{max}} \leq d/2$$

$$1374,987 \text{ mm} \leq 339 \text{ mm}/2$$

$$1374,987 \text{ mm} > 169,5 \text{ mm} \text{ (**Tidak memenuhi**)}$$

$$S_{\text{max}} \leq 600 \text{ mm}$$

$$1374,987 \text{ mm} > 600 \text{ mm} \text{ (**Tidak memenuhi**)}$$

Sehingga dicoba tulangan geser Ø10 - 150 mm.

Cek berdasarkan SRPMM untuk kekuatan Geser Kolom

1. Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.5.2, spasi maksimum sengkang ikat yang dipasang pada rentang  $L_o$  dari muka hubungan balok-kolom  $S_o$ . Spasi  $S_o$  tersebut tidak boleh melebihi :

- a. Delapan kali diameter tulangan longitudinal terkecil,  
 $S_o \leq 8 \times D_{\text{lentur}}$   
 $150 \text{ mm} \leq 8 \times 22 \text{ mm}$   
 $150 \text{ mm} \leq 176 \text{ mm}$  (**memenuhi**)
- b. 24 kali diameter sengkang ikat  
 $S_o \leq 24 \times \emptyset_{\text{geser}}$   
 $150 \text{ mm} \leq 24 \times 10 \text{ mm}$   
 $150 \text{ mm} \leq 240 \text{ mm}$  (**memenuhi**)
- c. Setengah dimensi penampang terkecil struktur  
 $S_o \leq \frac{1}{2} \times b_w$   
 $150 \text{ mm} \leq \frac{1}{2} \times 400 \text{ mm}$   
 $150 \text{ mm} \leq 200 \text{ mm}$  (**memenuhi**)
- d.  $S_o \leq 300 \text{ mm}$   
 $150 \text{ mm} \leq 300 \text{ mm}$  (**memenuhi**)

Kontrol syarat penulangan geser memenuhi, maka  $S_{\text{pakai}}$  menggunakan jarak minimum kontrol yaitu 150 mm.

Maka digunakan  $S_o$  sebesar  $\emptyset 10 - 150 \text{ mm}$ .

Panjang  $L_o$  tidak boleh kurang dari pada nilai terbesar berikut ini :

- d. Seperenam tinggi bersih kolom  
 $L_o = \frac{1}{6} \times (3570 - 400)$   
 $= 558,33 \text{ mm}$
  - e. Dimensi terbesar penampang kolom  
 $L_o = 400 \text{ mm}$
  - f.  $L_o = 750 \text{ mm}$   
Maka dipasang sengkang sebesar  $\emptyset 10 - 150 \text{ mm}$  sejarak 750 mm dari muka hubungan balok kolom.
2. Sengkang ikat pertama harus dipasang pada jarak tidak lebih dari pada  $0,5 \times S_o = 0,5 \times 150 \text{ mm} = 75 \text{ mm}$  dari muka hubungan balok-kolom.
  3. Spasi sengkang ikat pada seberang penampang kolom tidak boleh melebihi  $2 \times S_o = 2 \times 150 \text{ mm} = 300 \text{ mm}$ .

Maka pada daerah setelah sejarak  $L_o = 750$  mm dari muka hubungan balok-kolom tetap dipasang sengkang sebesar  $\varnothing 10 - 150$  mm.

#### 4.5.2.3. Perhitungan Sambungan Lewatan Tulangan Vertikal Kolom

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 12.16.1, panjang lewatan minimum untuk sambungan lewatan tekan adalah  $0,071 \times f_y \times d_b$ , untuk  $f_y = 420$  Mpa atau kurang, tetapi tidak kurang dari 300 mm.

$$0,071 \times f_y \times d_b \geq 300 \text{ mm}$$

$$0,071 \times 400 \times 22 \geq 300 \text{ mm}$$

$$624,8 \text{ mm} \geq 300 \text{ mm (memenuhi)}$$

Maka panjang sambungan lewatan kolom sebesar 650 mm.

#### 4.5.2.4. Panjang Penyaluran Tulangan Kolom

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 12.2.3, panjang penyaluran untuk tulangan D19 harus diambil sebesar :

$$\frac{L_d}{d_b} = \frac{f_y}{1,1 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c}} \cdot \frac{\Psi_t \cdot \Psi_o \cdot \Psi_s}{\left( \frac{c + ktr}{d_b} \right)}$$

$$\frac{L_d}{d_b} = \frac{400}{1,1 \cdot 1,0 \cdot \sqrt{30}} \cdot \frac{1,0 \cdot 1,5 \cdot 1,0}{\left( \frac{61 + 0}{22} \right)}$$

$$\frac{L_d}{d_b} = 35,9162$$

$$L_d = 35,9162 \times 22$$

$$= 790,157 \text{ mm}$$

$$\approx 800 \text{ mm}$$

$$F_s = 60\% \times f_y$$

$$= 60\% \times 400 \text{ Mpa}$$

$$= 240 \text{ Mpa}$$

$$F_s > f_y$$

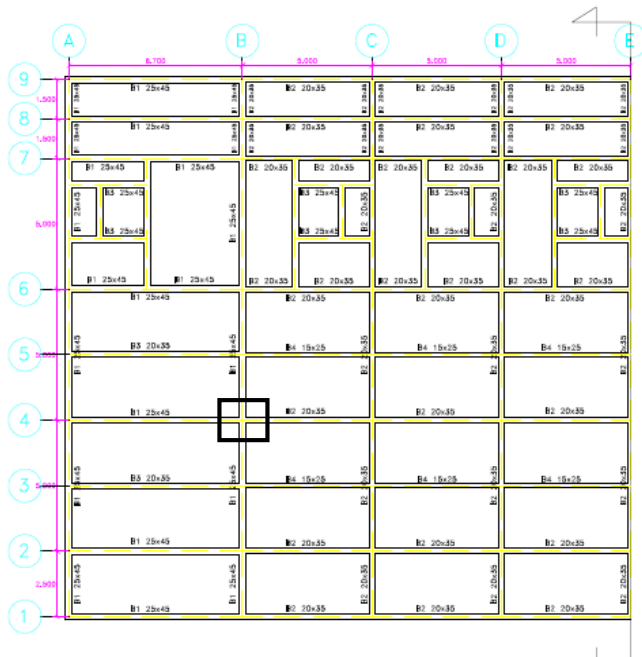
$$L_{d \text{ pakai}} = 1,3 \times 800 \text{ mm}$$

$$= 1040 \text{ mm}$$

*Halaman Ini Sengaja Dikosongkan*

#### 4.6. Hubungan Balok-Kolom untuk SRPMM

Perhitungan perencanaan hubungan balok-kolom yang merupakan tempat pertemuan komponen balok dan kolom yang telah didesain pada bagian 4.4 dan 4.5. Analisis gaya-gaya yang bekerja pada hubungan balok-kolom (HBK) tersebut sebagai berikut :



**Gambar 4.138.** Gambar Hubungan Balok-Kolom yang Akan Ditinjau

- a. Momen-momen nominal terbesar pada masing-masing penampang balok yang memasuki join adalah :

Arah memanjang :

$$M_n \text{ tumpuan kiri} = 41127875,50 \text{ N.mm}$$

$$M_n \text{ tumpuan kanan} = 29109756,36 \text{ N.mm}$$



Arah melintang :

$$M_n \text{ tumpuan kiri} = 123782960,3 \text{ N.mm}$$

$$M_n \text{ tumpuan kanan} = 229406176,8 \text{ N.mm}$$

HBK arah memanjang

$$M_e \text{ memanjang} = \text{faktor kekakuan kolom atas} \times (41127875,50 + 29109756,36)$$

$$= 1,578 \times 70237331,86$$

$$= 110834509,7 \text{ N.mm}$$

$$V_{\text{sway memanjang}} = M_e / \text{tinggi bersih kolom}$$

$$= 110834509,7 \text{ N.mm} / (4500 - 400)$$

$$= 27032,80724 \text{ N}$$

- b. Di bagian lapisan atas balok (di kiri HBK) baja tulangan yang dipasang adalah 3D16. Luas penampang tulangan,  $A_s = 603,186 \text{ mm}^2$ .

Gaya yang bekerja pada baja tulangan atas balok adalah

$$T_1 = 1,0 \cdot A_s \cdot f_y$$

$$= 1,0 \times 603,186 \times 400$$

$$= 241274,4 \text{ N}$$

$$C_1 = T_1 = 241274,4 \text{ N}$$

- c. Dibagian lapis bawah balok (di kanan HBK) baja tulangan yang dipasang adalah 2D16. Luas penampang tulangan,  $A_s = 402,124 \text{ mm}^2$ .

Gaya yang bekerja pada baja tulangan bawah balok adalah

$$T_2 = 1,0 \cdot A_s \cdot f_y$$

$$= 1,0 \times 402,124 \times 400$$

$$= 160849,6 \text{ N}$$

$$C_2 = T_2 = 160849,6 \text{ N}$$

- d.  $V_u = V_{\text{sway}} - T_1 - C_2$

$$= 27032,80724 \text{ N} - 241274,4 \text{ N} - 160849,6 \text{ N}$$

$$= -375091,1893 \text{ N (berlawanan arah dengan } V_{\text{sway}})$$

Kuat geser nominal join yang dikekang di keempat sisinya adalah (SNI 03-2817-2013 pasal 21.7.4) :

$$V_n = 1,7 \times \sqrt{f_c'} \times A_j$$

Luas efektif hubungan balok-kolom :

$$A_j = 400 \text{ mm} \times 400 \text{ mm} \\ = 160000 \text{ mm}^2$$

$$V_n = 1,7 \times \sqrt{30} \times 160000 \\ = 148905,356 \text{ N}$$

$$\phi \cdot V_n = 0,75 \times 148905,356 \text{ N} \\ = 1117354,017 \text{ N}$$

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.5.5 menyatakan bahwa tulangan hubungan balok-kolom SRPMM harus memenuhi ketentuan dalam pasal 11.10, yang pada pasal 11.10.2 mengharuskan pada join elemen portal ke kolom pemikul gempa setidaknya harus disediakan tulangan lateral yang tidak kurang dari persamaan 11.13 SNI 03-2847-2013, yaitu :

$$A_{v-\min} = \frac{75 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot s}{1200 \cdot f_y} = 0,062 \cdot \sqrt{f'_c} \frac{b_w \cdot s}{f_y}$$

Diasumsikan, digunakan spasi sengkang yang digunakan 200 mm, maka

$$A_{v-\min} = \frac{75 \cdot \sqrt{30} \cdot 400 \cdot 200}{1200 \cdot 400} \\ = 68,465 \text{ mm}^2$$

Bila digunakan sengkang **2 kaki D10** seperti sengkang pada kolom, maka luas tulangan yang tersedia adalah 157 mm<sup>2</sup>. Tulangan ini cukup untuk memenuhi kebutuhan tulangan sengkang pada join dan lebih besar dari tulangan geser minimum  $(0,35 \cdot b_w \cdot s) / f_y = 70 \text{ mm}^2$ .

Sehingga digunakan sengkang **2D10-200**.

#### HBK arah melintang

$$M_e \text{ memanjang} = \text{faktor kekakuan kolom atas} \times \\ (123782960,3 + 229406176,8) \\ = 1,578 \times 353189137,1 \\ = 557332458,3 \text{ N.mm}$$

$$V_{\text{sway memanjang}} = M_e / \text{tinggi bersih kolom} \\ = 557332458,3 \text{ N.mm} / (4500 - 400)$$

$$= 135934,7459 \text{ N}$$

- a. Di bagian lapisan atas balok (di kiri HBK) baja tulangan yang dipasang adalah 4D19. Luas penampang tulangan,  $A_s = 1134,115 \text{ mm}^2$ .

Gaya yang bekerja pada baja tulangan atas balok adalah

$$\begin{aligned} T_1 &= 1,0 \cdot A_s \cdot f_y \\ &= 1,0 \times 1134,115 \times 400 \\ &= 453646 \text{ N} \end{aligned}$$

$$C_1 = T_1 = 453646 \text{ N}$$

- b. Dibagian lapis bawah balok (di kanan HBK) baja tulangan yang dipasang adalah 2D19. Luas penampang tulangan,  $A_s = 567,057 \text{ mm}^2$ .

Gaya yang bekerja pada baja tulangan bawah balok adalah

$$\begin{aligned} T_2 &= 1,0 \cdot A_s \cdot f_y \\ &= 1,0 \times 567,057 \times 400 \\ &= 226822,8 \text{ N} \end{aligned}$$

$$C_2 = T_2 = 226822,8 \text{ N}$$

- c.  $V_u = V_{\text{sway}} - T_1 - C_2$   
 $= 135934,7459 \text{ N} - 453646 \text{ N} - 226822,8 \text{ N}$   
 $= -544534,0541 \text{ N}$  (**berlawanan arah dengan  $V_{\text{sway}}$** )

Kuat geser nominal join yang dikekang di keempat sisinya adalah (SNI 03-2817-2013 pasal 21.7.4) :

$$V_n = 1,7 \times \sqrt{f'_c} \times A_j$$

Luas efektif hubungan balok-kolom :

$$\begin{aligned} A_j &= 400 \text{ mm} \times 400 \text{ mm} \\ &= 160000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_n &= 1,7 \times \sqrt{30} \times 160000 \\ &= 148905,356 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi \cdot V_n &= 0,75 \times 148905,356 \text{ N} \\ &= 1117354,017 \text{ N} \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 03-2847-2013 pasal 21.3.5.5 menyatakan bahwa tulangan hubungan balok-kolom SRPMM harus memenuhi ketentuan dalam pasal 11.10, yang pada pasal 11.10.2 mengharuskan pada join elemen portal ke kolom

pemikul gempa setidaknya harus disediakan tulangan lateral yang tidak kurang dari persamaan 11.13 SNI 03-2847-2013, yaitu :

$$A_{v-min} = \frac{75 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot s}{1200 \cdot f_y} = 0,062 \cdot \sqrt{f'_c} \frac{b_w \cdot s}{f_y}$$

Diasumsikan, digunakan spasi sengkang yang digunakan 200 mm, maka

$$\begin{aligned} A_{v-min} &= \frac{75 \cdot \sqrt{30} \cdot 400 \cdot 200}{1200 \cdot 400} \\ &= 68,465 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

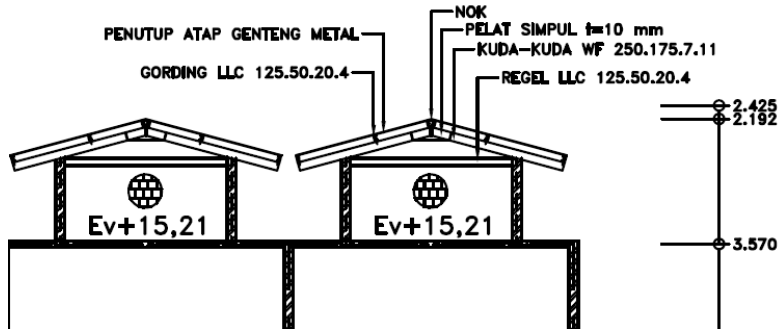
Bila digunakan sengkang **2 kaki D10** seperti sengkang pada kolom, maka luas tulangan yang tersedia adalah 157 mm<sup>2</sup>. Tulangan ini cukup untuk memenuhi kebutuhan tulangan sengkang pada join dan lebih besar dari tulangan geser minimum  $(0,35 \cdot b_w \cdot s) / f_y = 70 \text{ mm}^2$ .

Sehingga digunakan sengkang **2D10-200**.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

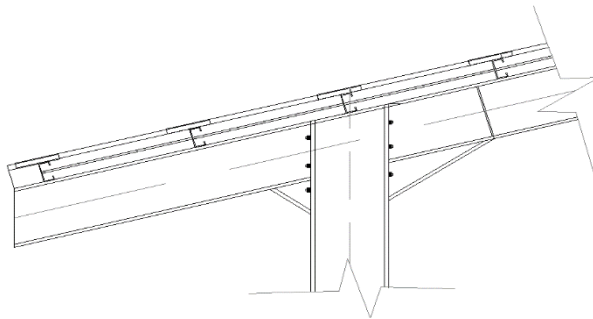
#### 4.7. Perhitungan Sambungan pada Atap Rangka Baja

Gambar rencana perhitungan sambungan pada atap rangka baja :



**Gambar 4.139.** Gambar Rencana Perhitungan Sambungan pada Atap Rangka Atap Baja

##### 4.7.1. Sambungan A(Kuda-Kuda dengan Kolom)

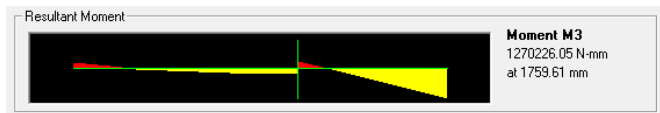


**Gambar 4.140.** Rencana Sambungan pada Kuda-Kuda dan Kolom

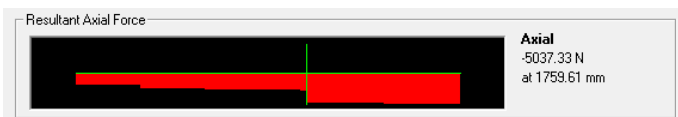
- ❖ Data perencanaan :
  - Sudut kemiringan atap =  $15^{\circ}$
  - Profil kuda-kuda = WF 250.175.7.11

Tebal plat las	= 10 mm
Mutu baja	= BJ 41
$f_u$	= 410 Mpa
$f_{uw}$	= 325 Mpa
$f_y$	= 250 Mpa
$f_{ub}$	= 825 Mpa
Tipe baut	= A325
Diameter baut ( $d_b$ )	= 16 mm
Tebal plat ( $t_p$ )	= 10 mm
$r_1$	= 0,5 (untuk baut tanpa ulir)
bidang geser	
Jumlah bidang geser ( $m$ )	= 1
Jumlah baut ( $n$ )	= 6 buah

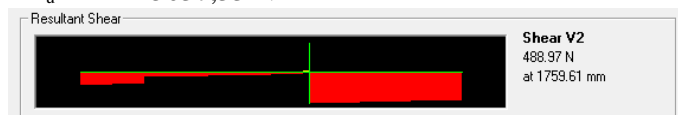
- ❖ Gaya-gaya dalam yang terjadi  
 Dari hasil analisa SAP 2000, didapatkan gaya-gaya sebagai berikut :



$$M_u = 1270226,05 \text{ N.mm}$$



$$P_u = 5037,33 \text{ N}$$



$$V_u = 488,97 \text{ N}$$

Diketahui :

$$\beta = 15^\circ$$

$$V_1 = V_u \cdot \cos \beta$$

$$\begin{aligned}
 &= 488,97 \text{ N} \times \cos 15 \\
 &= 472,309 \text{ N} \\
 V_2 &= V_u \cdot \sin \beta \\
 &= 488,97 \text{ N} \times \sin 15 \\
 &= 126,554 \text{ N} \\
 P_1 &= P_u \cdot \cos \beta \\
 &= 5037,33 \text{ N} \times \cos 15 \\
 &= 4865,687 \text{ N} \\
 P_2 &= P_u \cdot \sin \beta \\
 &= 5037,33 \text{ N} \times \sin 15 \\
 &= 1303,756 \text{ N} \\
 \Sigma V &= 0 \\
 &= V_1 - P_1 \\
 &= 472,309 - 4865,687 \\
 &= 4393,378 \text{ N} (\downarrow) \\
 \Sigma H &= 0 \\
 &= P_2 + V_2 \\
 &= 1303,756 + 126,554 \\
 &= 1430,31 \text{ N} (\rightarrow)
 \end{aligned}$$

a. Perencanaan sambungan baut

Direncanakan baut :

Diameter ( $d_b$ ) = 16 mm

Type baut = A325

$f_u$  = 825 Mpa

$f_t$  = 585 Mpa

Jumlah (n) = 6 buah

Tebal plat = 10 mm

sambung

Perhitungan tata letak baut sesuai dengan SNI 1729-2015

$$3d_b < S < 15.t_p$$

$$3 \times 16 \text{ mm} < S < 15 \times 10 \text{ mm}$$

$$48 \text{ mm} < S < 150 \text{ mm, digunakan } S = 100 \text{ mm}$$

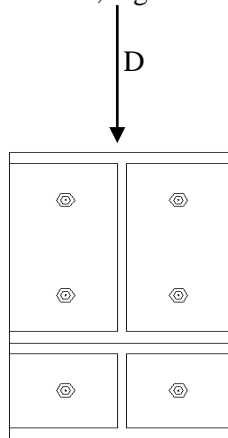
Jarak baut ke tepi profil :

$$1,5.d_b < S_1 < 4.t_p + S$$



$$1,5 \times 16 \text{ mm} < S_1 < 4 \times 10 \text{ mm} + 100 \text{ mm}$$

$$24 \text{ mm} < S_1 < 140 \text{ mm, digunakan } S_1 = 50 \text{ mm}$$



1. Perhitungan kemampuan baut akibat gaya D sentris :  
Menghitung gaya pada 1 baut :

$$K^{\circ} = P_u/n$$

$$= 5037,33/6$$

$$= 839,555 \text{ N}$$

Tinjauan terhadap 1 baut :

- Terhadap kekuatan geser
 
$$\phi \cdot R_n = 0,75 \cdot m \cdot r_1 \cdot f_{ub} \cdot A_b$$

$$= 0,75 \times 1 \times 0,5 \times 825 \times (0,25 \cdot \pi \cdot 16^2)$$

$$= 62203,534 \text{ N}$$
- Terhadap kekuatan tarik
 
$$\phi \cdot R_n = 0,75 \cdot 0,75 \cdot f_{ub} \cdot A_b$$

$$= 0,75 \times 0,75 \times 825 \times (0,25 \cdot \pi \cdot 16^2)$$

$$= 96358,930 \text{ N}$$

Maka digunakan  $\phi \cdot R_n = 62203,534 \text{ N}$

Cek kemampuan 1 baut :

$$\phi \cdot R_n > K^{\circ}$$

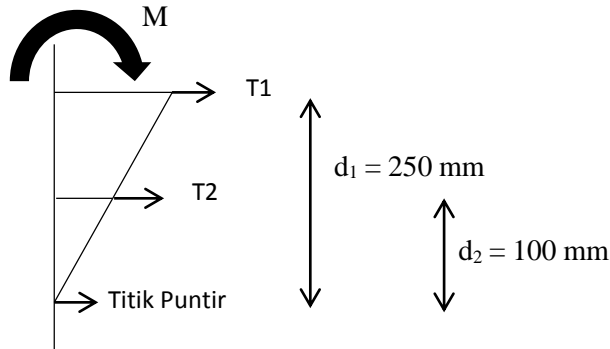
$$62203,534 \text{ N} > 839,555 \text{ N (Memenuhi)}$$

Menghitung nilai tegangan ( $\tau$ ) :

$$\text{Gaya pada 1 baut} / \text{Luas baut} = K^{\circ} / A_b$$

$$\begin{aligned}\tau &= 839,555 \text{ N} / (0,25 \times \pi \times 16^2) \\ &= 4,175 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

2. Perhitungan kemampuan baut akibat momen M



**Gambar 4.141.** Pemodelan momen yang terjadi akibat sambungan

$$\begin{aligned}\text{Jumlah bidang geser (m)} &= 1 \\ r_1 &= 0,5\end{aligned}$$

Menghitung tahanan lentur ( $T_n$ ) :

$$\begin{aligned}T_n &= M \cdot d_n / \Sigma d_n^2 \\ \Sigma d_n &= (100 \text{ mm})^2 + (250 \text{ mm})^2 \\ &= 72500 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

- Untuk  $T_1$ 

$$\begin{aligned}T_1 &= M \cdot d_1 / \Sigma d_n^2 \\ &= 1270226,05 \times 250 / 72500 \\ &= 4380,089 \text{ N}\end{aligned}$$
- Untuk  $T_2$ 

$$\begin{aligned}T_2 &= M \cdot d_2 / \Sigma d_n^2 \\ &= 1270226,05 \times 100 / 72500 \\ &= 1752,036 \text{ N}\end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas maka nilai T yang digunakan adalah  $T_1 = 4830,089 \text{ N}$

Menghitung  $\sigma_{\text{tarik}}$  :

$$\begin{aligned}
 \sigma_{\text{tarik}} &= T_n / A_b \\
 &= 4830,089 / (0,25 \times \pi \times 16^2) \\
 &= 24,022 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

Kontrol akibat D sentris dan M

$$\begin{aligned}
 \sigma_i &= \sqrt{\sigma_{\text{tarik}}^2 + 1,57 \cdot \tau^2} \\
 &= \sqrt{24,022^2 + (1,57 \times 4,175)^2} \\
 &= 24,9 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \sigma_i &< \sigma_{\text{ijin}} \\
 24,9 &< 160 \text{ (**memenuhi**)}
 \end{aligned}$$

Maka 6 baut berdiameter 16 mm cukup untuk menahan gaya D sentris dan momen M yang terjadi.

b. Perencanaan sambungan las sudut

Direncanakan :

Tebal plat = 10 mm

Sambungan las dengan :

$f_{uw} = 490 \text{ Mpa}$

tebal minimum las sudut = 4 mm

tebal maksimum las sudut = 8 mm

tebal efektif =  $0,707 \times 8 \text{ mm}$   
= 5,6 mm

Profil yang di las = WF 250.175.7.11

Perhitungan :

Tinjauan ketahanan las :

- Terhadap las
 
$$\begin{aligned}
 \phi.R_n &= 0,75 \times t_e \times 0,6 \times f_{uw} \\
 &= 0,75 \times 5,6 \times 0,6 \times 490 \\
 &= 1234,8 \text{ N/mm}
 \end{aligned}$$
- Terhadap bahan dasar
 
$$\begin{aligned}
 \phi.R_n &= 0,75 \times t_e \times 0,6 \times f_u \\
 &= 0,75 \times 5,6 \times 0,6 \times 410 \\
 &= 1033,2 \text{ N/mm}
 \end{aligned}$$

Sehingga  $\phi.R_n$  yang digunakan adalah 1033,2 N/mm.

Menghitung panjang las ( $L_w$ ) :

$$L_w = 2 \cdot (\text{Tinggi profil} - 2 \times t_{\text{sayap}}) + 2 \times (100 - (2 \times t_{\text{sayap}}))$$

$$\begin{aligned}
 &= 2.(250-(2 \times 11)) + 2.(100-(2 \times 11)) \\
 &= 612 \text{ mm} \\
 R_u &= P_u / L_w \\
 &= 5037,33 / 612 \\
 &= 8,230 \text{ N/mm}
 \end{aligned}$$

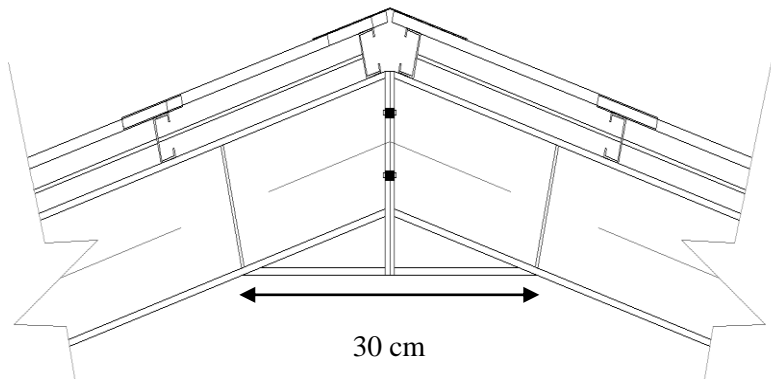
Kontrol :

$$\phi \cdot R_n > R_u$$

$$1033,2 > 8,230 \text{ (Memenuhi)}$$

Sehingga las sudut yang digunakan adalah dengan tebal 5,6 mm sepanjang 612 mm.

#### 4.7.2. Sambungan B (Kuda-Kuda)



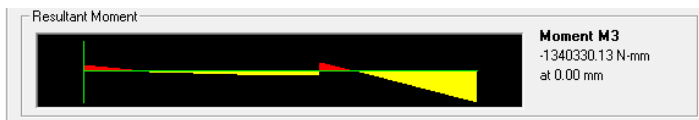
**Gambar 4.142.** Rencana Sambungan pada Kuda-Kuda

❖ Data perencanaan :

Sudut kemiringan atap	= 15°
Profil kuda-kuda	= WF 250.175.7.11
Tebal plat las	= 10 mm
Mutu baja	= BJ 41
$f_u$	= 410 Mpa
$f_{uw}$	= 325 Mpa

$f_y$	= 250 Mpa
$f_{ub}$	= 825 Mpa
Tipe baut	= A325
Diameter baut ( $d_b$ )	= 16 mm
Tebal plat ( $t_p$ )	= 10 mm
$r_1$	= 0,5 (untuk baut tanpa ulir bidang geser)
Jumlah bidang geser ( $m$ )	= 1
Jumlah baut ( $n$ )	= 6 buah

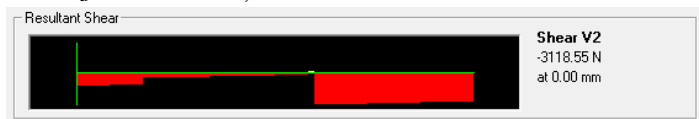
- ❖ Gaya-gaya dalam yang terjadi  
Dari hasil analisa SAP 2000, didapatkan gaya-gaya sebagai berikut :



$$M_u = 1340330,13 \text{ N.mm}$$



$$P_u = 3485,36 \text{ N}$$



$$V_u = 3118,55 \text{ N}$$

Diketahui :

$$\beta = 15^\circ$$

$$\begin{aligned} V_1 &= V_u \cdot \cos \beta \\ &= 3118,55 \text{ N} \times \cos 15 \\ &= 3012,288 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_2 &= V_u \cdot \sin \beta \\ &= 3118,55 \text{ N} \times \sin 15 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 807,140 \text{ N} \\
 P_1 &= P_u \cdot \cos \beta \\
 &= 3485,36 \text{ N} \times \cos 15 \\
 &= 3366,599 \text{ N} \\
 P_2 &= P_u \cdot \sin \beta \\
 &= 3485,36 \text{ N} \times \sin 15 \\
 &= 902,077 \text{ N} \\
 \Sigma V &= 0 \\
 &= V_1 - P_1 \\
 &= 3012,288 - 3366,599 \\
 &= 354,311 \text{ N} \quad (\downarrow) \\
 \Sigma H &= 0 \\
 &= P_2 + V_2 \\
 &= 902,077 + 807,140 \\
 &= 1709,217 \text{ N} \quad (\rightarrow)
 \end{aligned}$$

a. Perencanaan sambungan baut

Direncanakan baut :

Diameter ( $d_b$ ) = 16 mm

Type baut = A325

$f_u$  = 825 Mpa

$f_t$  = 585 Mpa

Jumlah (n) = 6 buah

Tebal plat = 10 mm

sambung

Perhitungan tata letak baut sesuai dengan SNI 1729-2015

$$3d_b < S < 15.t_p$$

$$3 \times 16 \text{ mm} < S < 15 \times 10 \text{ mm}$$

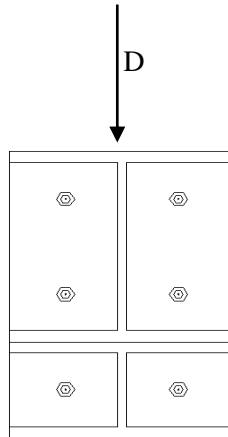
$$48 \text{ mm} < S < 150 \text{ mm, digunakan } S = 100 \text{ mm}$$

Jarak baut ke tepi profil :

$$1,5.d_b < S_1 < 4.t_p + S$$

$$1,5 \times 16 \text{ mm} < S_1 < 4 \times 10 \text{ mm} + 100 \text{ mm}$$

$$24 \text{ mm} < S_1 < 140 \text{ mm, digunakan } S_1 = 50 \text{ mm}$$



1. Perhitungan kemampuan baut akibat gaya D sentris :

Menghitung gaya pada 1 baut :

$$\begin{aligned} K^{\circ} &= P_u/n \\ &= 3485,36/6 \\ &= 580,893 \text{ N} \end{aligned}$$

Tinjauan terhadap 1 baut :

- Terhadap kekuatan geser
 
$$\begin{aligned} \phi \cdot R_n &= 0,75 \cdot m \cdot r_1 \cdot f_{ub} \cdot A_b \\ &= 0,75 \times 1 \times 0,5 \times 825 \times (0,25 \cdot \pi \cdot 16^2) \\ &= 62203,534 \text{ N} \end{aligned}$$
- Terhadap kekuatan tarik
 
$$\begin{aligned} \phi \cdot R_n &= 0,75 \cdot 0,75 \cdot f_{ub} \cdot A_b \\ &= 0,75 \times 0,75 \times 825 \times (0,25 \cdot \pi \cdot 16^2) \\ &= 96358,930 \text{ N} \end{aligned}$$

Maka digunakan  $\phi \cdot R_n = 62203,534 \text{ N}$

Cek kemampuan 1 baut :

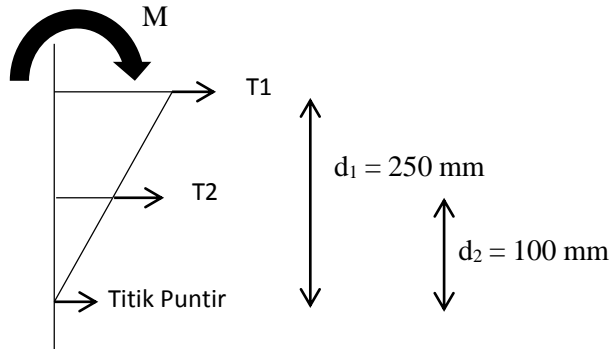
$$\begin{aligned} \phi \cdot R_n &> K^{\circ} \\ 62203,534 \text{ N} &> 580,893 \text{ N} \text{ (**Memenuhi**)} \end{aligned}$$

Menghitung nilai tegangan ( $\tau$ ) :

Gaya pada 1 baut / Luas baut =  $K^{\circ}/A_b$

$$\begin{aligned} \tau &= 580,893 \text{ N} / (0,25 \times \pi \times 16^2) \\ &= 2,889 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

## 2. Perhitungan kemampuan baut akibat momen M



**Gambar 4.143.** Pemodelan momen yang terjadi akibat sambungan

$$\begin{aligned} \text{Jumlah bidang geser (m)} &= 1 \\ r_1 &= 0,5 \end{aligned}$$

Menghitung tahanan lentur ( $T_n$ ) :

$$\begin{aligned} T_n &= M \cdot d_n / \Sigma d_n^2 \\ \Sigma d_n &= (100 \text{ mm})^2 + (250 \text{ mm})^2 \\ &= 72500 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

- Untuk  $T_1$ 

$$\begin{aligned} T_1 &= M \cdot d_1 / \Sigma d_n^2 \\ &= 1340330,13 \times 250 / 72500 \\ &= 4621,828 \text{ N} \end{aligned}$$
- Untuk  $T_2$ 

$$\begin{aligned} T_2 &= M \cdot d_2 / \Sigma d_n^2 \\ &= 1340330,13 \times 100 / 72500 \\ &= 1848,731 \text{ N} \end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas maka nilai  $T$  yang digunakan adalah  $T_1 = 4621,828 \text{ N}$

Menghitung  $\sigma_{\text{tarik}}$  :

$$\begin{aligned} \sigma_{\text{tarik}} &= T_n / A_b \\ &= 4621,828 / (0,25 \times \pi \times 16^2) \\ &= 22,982 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$



Kontrol akibat D sentris dan M

$$\begin{aligned}\sigma_i &= \sqrt{\sigma_{tarik}^2 + 1,57 \cdot \tau^2} \\ &= \sqrt{22,982^2 + (1,57 \times 2,889)^2} \\ &= 23,425 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

$$\sigma_i < \sigma_{ijin}$$

$$23,425 < 160 \text{ (**memenuhi**)}$$

Maka 5 baut berdiameter 16 mm cukup untuk menahan gaya D sentris dan momen M yang terjadi.

b. Perencanaan sambungan las sudut

Direncanakan :

Tebal plat = 10 mm

Sambungan las dengan :

$$f_{uw} = 490 \text{ Mpa}$$

tebal minimum las sudut = 4 mm

tebal maksimum las sudut = 8 mm

$$\begin{aligned}\text{tebal efektif} &= 0,707 \times 8 \text{ mm} \\ &= 5,6 \text{ mm}\end{aligned}$$

Profil yang di las = WF 250.175.7.11

Perhitungan :

Tinjauan ketahanan las :

- Terhadap las

$$\begin{aligned}\phi \cdot R_n &= 0,75 \times t_e \times 0,6 \times f_{uw} \\ &= 0,75 \times 5,6 \times 0,6 \times 490 \\ &= 1234,8 \text{ N/mm}\end{aligned}$$

- Terhadap bahan dasar

$$\begin{aligned}\phi \cdot R_n &= 0,75 \times t_e \times 0,6 \times f_u \\ &= 0,75 \times 5,6 \times 0,6 \times 410 \\ &= 1033,2 \text{ N/mm}\end{aligned}$$

Sehingga  $\phi \cdot R_n$  yang digunakan adalah 1033,2 N/mm.

Menghitung panjang las ( $L_w$ ) :

$$\begin{aligned}L_w &= 2 \cdot (\text{Tinggi profil} - 2 \times t_{sayap}) + 2 \times (100 - (2 \times t_{sayap})) \\ &= 2 \cdot (250 - (2 \times 11)) + 2 \cdot (100 - (2 \times 11)) \\ &= 612 \text{ mm}\end{aligned}$$

$$R_u = P_u / L_w$$

$$= 5037,33 / 612$$

$$= 8,230 \text{ N/mm}$$

Kontrol :

$$\phi \cdot R_n > R_u$$

$$1033,2 > 8,230 \text{ (Memenuhi)}$$

Sehingga las sudut yang digunakan adalah dengan tebal 5,6 mm sepanjang 612 mm.

#### 4.7.3. Sambungan C (Plat Landas)

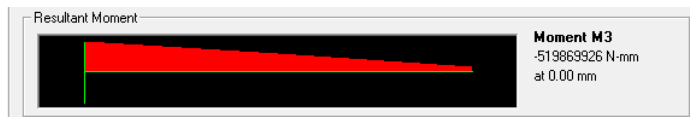
Data perencanaan :

Dimensi kolom baja WF 250.175.7.11

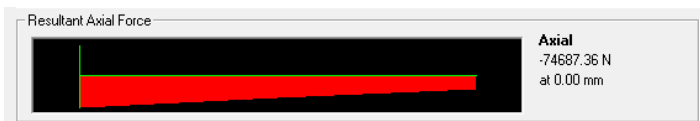
Beban pada kolom (Hasil SAP 2000 frame 2415)



$$V_u = 418179,27 \text{ N}$$



$$M_u = 519869926 \text{ N.mm}$$



$$P_u = 74687,36 \text{ N}$$

Dimensi kolom beton = 40/40

$$f'_c = 30 \text{ Mpa}$$

$$\begin{aligned} \text{Tegangan ijin beton } \sigma &= 0,85 \times 30 \text{ Mpa} \\ &= 25,5 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

Angkur baut :

$$\text{Tipe ankur baut} = \text{A-325}$$

$$\begin{aligned}\text{Tegangan putus } (f_u^b) &= 825 \text{ Mpa} \\ \text{Tegangan leleh} &= 585 \text{ Mpa} \\ \text{Diameter angkur} &= 16 \text{ mm}\end{aligned}$$

- a. Perencanaan dimensi plat landas lebar (B) dan panjang (N)

Mencari luas perlu plat landas

$$\begin{aligned}\sigma_{ijin} &\geq P_u / A_{plat} \\ 25,5 &\geq 74687,36 / A_{plat} \\ A &\geq 2928,92 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Direncanakan :

$$\begin{aligned}A_{plat \text{ rencana}} &= 400 \times 400 \\ &= 160000 \text{ mm}^2 > 2928,92 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

**(memenuhi)**

- b. Perhitungan tebal plat landas

$$\begin{aligned}\text{Tegangan dibawah plat landas} &= 0,85 \times f_c' \\ &= 0,85 \times 30 \\ &= 25,5 \text{ Mpa}\end{aligned}$$

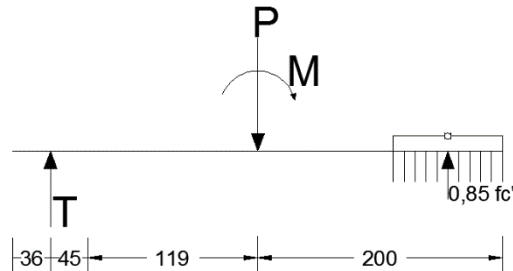
$$\begin{aligned}\text{Modulus penampang} &= 1/6 \times b \times t_{plat}^2 \\ &= 1/6 \times 400 \times t^2 \\ &= 66,67 \times t_{plat}^2\end{aligned}$$

Sehingga tebal penampang yang dibutuhkan adalah

$$\begin{aligned}F_y &\geq M/s \\ 250 &\geq (1/2 \times f_{pu} \times m^2) / (66,67 \times t_{plat}^2) \\ 250 &\geq (1/2 \times 25,5 \times (60)^2) / (66,67 \times t_{plat}^2) \\ t_{plat} &\geq \sqrt{(1/2 \times 25,5 \times (60)^2) / (66,67 \times 250)} \\ t_{plat} &\geq 1,65 \text{ mm}\end{aligned}$$

Sehingga tebal plat landas yang dipakai adalah setebal 10 mm.

c. Perhitungan jumlah angker pada plat landas



- Mencari tegangan angker yang terjadi akibat reaksi plat landas

$\Sigma V = 0$  (**Persamaan I**)

$$T - P - 0,85 \times f_c' \times a \times b = 0$$

$\Sigma M = 0$  (**Persamaan II**)

$$P \times (45 + 119) + M - 0,85 \times f_c' \times a \times b = 0$$

$$74687,36 \times 164 + 519869926 - 0,85 \times 30 \times a \times 400 \times (200 + 119 + 45 - \frac{1}{2} a) = 0$$

$$12248727,04 + 519869926 - 10200a(364 - \frac{1}{2} a) = 0$$

$$532118653 - 3712800a + 5100a^2 = 0$$

Dari persamaan diatas dapat disederhanakan

$$532118653 - 3712800a + 5100a^2 = 0 \quad (: 5100)$$

$$a^2 - 728a + 104336,9971 = 0$$

persamaan diatas dapat diselesaikan dengan rumus ABC :

$$a_1, a_2 = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$a_1 = \frac{-(728) + \sqrt{(728)^2 - 4 \times 1 \times 10336,9971}}{2.1}$$

$$= 713,512 \text{ mm}$$

$$a_2 = \frac{-(728) - \sqrt{(728)^2 - 4 \times 1 \times 10336,9971}}{2.1}$$

$$= 14,487 \text{ mm}$$

Maka didapatkan nilai  $a_1 = 713,512$  mm dan  $a_2 = 14,487$  mm. Maka nilai  $a$  yang digunakan adalah 14,487 mm. Dari nilai  $a$  tersebut dimasukkan ke dalam persamaan I  $\Sigma V = 0$

$$T - P - 0,85 \times f_c' \times a \times b = 0$$

$$\begin{aligned} T &= P + 0,85 \times f_c' \times a \times b \\ &= 74687,36 + 0,85 \times 30 \times 14,487 \times 400 \\ &= 222454,76 \text{ N} \end{aligned}$$

Didapatkan nilai tegangan Tarik yang terjadi pada angker sebesar 222454,76 N.

- Perhitungan jumlah angker

$$\begin{aligned} N &= T_u / \text{kuat Tarik baut} \\ &= 222454,76 / (0,75 \times f_u^b \times A_{\text{angkur}}) \\ &= 222454,76 / (0,75 \times 825 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 16^2) \\ &= 1,788 \\ &\approx 4 \text{ buah} \end{aligned}$$

Total kebutuhan yang dipasang untuk satu sisi adalah 4 buah dan untuk keseluruhan 8 buah.

- d. Panjang penyaluran angker

$$\begin{aligned} L_h &= (T_u / 2) / (0,75 \times f_c' \times \phi_{\text{angkur}}) \\ &= (222454,76 / 2) / (0,75 \times 30 \times 16) \\ &= 308,964 \text{ mm} \\ &\approx 400 \text{ mm} \end{aligned}$$

Panjang penyaluran untuk angker adalah 400 mm.

Perhitungan angker terhadap gaya geser  $V_u = 418179,27$  N

Kuat geser

$$\begin{aligned} \phi R_n &= 0,75 \times r_1 \times f_u^b \times A_b \\ &= 0,75 \times 0,5 \times 825 \times (\frac{1}{4} \times \pi \times 16^2) \\ &= 62203,534 \text{ N} \end{aligned}$$

Kekuatan 1 angker adalah 62203,534 N sedangkan angker yang dipasang total ada 8 buah, sehingga kekuatan nominal seluruh angker adalah  $8 \times 62203,534 \text{ N} = 497628,272 \text{ N}$  lebih besar daripada geser ultimate yang terjadi  $V_u = 418179,27 \text{ N}$ .

#### 4.8. Metode Pelaksanaan Kolom

Pada pekerjaan kolom, hal yang pertama dilakukan ialah menentukan titik kolom, setelah itu menentukan stek tulangan kolom untuk lantai 1 dan *marking* kolom tersebut, bersamaan pula dilakukan pekerjaan pabriksi yang dilakukan dilos besi. Setelah dipabriksi, tulangan diangkut ke area titik kolom dan memasang tulangan kolom, kemudian pemasang sepatu kolom untuk menandai tebal selimut kolom setelah tulangan tulangan kolom selesai dipasang. Pemasangan bekisting dilakukan dengan cara konvensional (tenaga manusia), kemudian dicek ketegakan kolom apabila kolom tersebut telah lurus kolom siap untuk dilakukan pengecoran dan setelah 7 jam, bekisting kolom boleh dibongkar.

Pekerjaan kolom yang ditinjau pada bangunan ruko 4 lantai di Surabaya adalah pekerjaan kolom beton bertulang. Beton yang digunakan menggunakan beton *ready-mix* dengan mutu beton K-300. Dimensi kolom yang ditinjau adalah setipe yaitu dengan dimensi 40 x 40 cm sesuai dengan gambar perencanaan. Tahapan pekerjaan kolom meliputi pekerjaan tulangan, pekerjaan bekisting, pekerjaan pengecoran, dan pekerjaan pembongkaran bekisting.

##### 4.8.1. Pekerjaan Penulangan

Pekerjaan penulangan kolom menggunakan sistem perakitan ditempat los besi, untuk *ring* atau sengkang kolom, akan tetapi untuk tulangan utama sistem perakitan di tempat pengerjaan bangunan. Untuk tipe tulangan yang digunakan adalah tulangan ulir. Untuk kolom lantai 1 dan kolom pendek menggunakan tulangan ulir diameter 19 mm. sedangkan untuk kolom lantai 2, 3, 4, dan kolom pada lift menggunakan tulangan ulir diameter 22 mm. berikut adalah alat dan bahan yang digunakan untuk pekerjaan penulangan kolom,

**Tabel 4.20.** Alat dan Bahan yang Digunakan dalam Pekerjaan Penulangan Kolom

Gambar	Alat/Bahan	Fungsi
	Baja tulangan ulir	Sebagai penahan gaya tarik pada konstruksi beton bertulang pada balok
	Kawat bendrat	Sebagai pengikat antartulangan
	Tang besi	Sebagai pengikat untuk pemasangan kawat bendrat
	Mesin pemotong tulangan	Mesin untuk memotong tulangan
	Meteran	Untuk melakukan pengukuran pada pekerjaan tulangan.

	Kapur	Sebagai penanda untuk pemotongan baja tulangan.
	Gunting pemotong tulangan	Untuk memotong tulangan secara manual
	Mesin pembengkok tulangan	Sebagai pembengkok tulangan

Tahapan pelaksanaan pekerjaan penulangan kolom meliputi :

- Pemotongan baja tulangan untuk sengkang atau *ring* kolom berdasarkan dimensi yang telah direncanakan dan pemotongan tulangan utama kolom di los besi.
- Pengangkutan baja tulangan menggunakan alat berat *truck* dari lokasi los besi ke lokasi proyek.
- Selanjutnya pengangkutan baja tulangan siap rakit ke area dekat dengan kolom yang akan dipasang tulangan dengan menggunakan *mobile crane*.
- Perakitan tulangan utama dan sengkang kolom serta mengatur jarak sengkang kolom baik itu untuk tumpuan maupun lapangan, kemudian dipasang stek kolom.
- Memperkuat sambungan stek kolom dengan tulangan utama dengan menggunakan kawat bendrat.




#### 4.8.2. Pekerjaan Bekisting

Pekerjaan bekisting pada kolom menggunakan sistem semi konvensional. Acuan pada bekisting kolom menggunakan *plywood* dan sabuk pengikatnya menggunakan baja *hollow*. Bekisting pada kolom menggunakan 4 sabuk pengikat serta *clemp* sebagai penjepit antarsiku. Alat dan bahan untuk pekerjaan bekisting kolom meliputi,

**Tabel 4.21.** Alat dan Bahan yang Digunakan dalam Pekerjaan Bekisting Kolom

Gambar	Alat/Bahan	Fungsi
	Meteran	Untuk mengukur berbagai pengukuran pada pekerjaan bekisting
	<i>Plywood</i> 12 mm	Sebagai acuan atau penahan langsung berat beban, tulangan, dan berat beton segar
	<i>Clemp</i>	Sebagai pengikat sabuk kolom
	Sabuk pengikat	Sebagai pengikat acuan bekisting pada kolom

Gambar	Alat/Bahan	Fungsi
	Sepatu kolom	Sebagai penanda selimut beton





Tahapan pekerjaan bekisting kolom ialah sebagai berikut :

- Pemasangan kaki kolom untuk menentukan selimut beton kolom. Pemasangan kaki kolom menggunakan plat besi dan las sebagai pengikatnya.
- Karena bekisting kolom menggunakan sistem semi *modern*, perakitannya telah dilakukan di lokasi kayu. Selanjutnya bekisting kolom yang diangkut menggunakan *mobile crane* kemudian ditempatkan pada kolom yang telah diberi kaki kolom.
- Setelah terpasang maka kunci sabuk pengunci menggunakan *clemp*.
- Untuk menjaga ketegakan dan kelurusan pada bekisting, maka digunakan unting-unting.

#### 4.8.3. Pekerjaan Pengecoran

Pekerjaan pengecoran kolom dilakukan setelah pekerjaan bekisting selesai dikerjakan. Pengecoran kolom menggunakan beton *ready mix* dengan mutu beton K-300. Berikut adalah alat yang dibutuhkan untuk pekerjaan pengecoran,

**Tabel 4.22.** Alat dan Bahan yang Digunakan dalam Pekerjaan Pengecoran Kolom

Gambar	Alat/ Bahan	Fungsi
	Beton segar <i>ready-mix</i> K-300	Sebagai bahan utama untuk struktur beton bertulang pada plat, balok, dan kolom
	<i>Bucket</i> kapasitas 13,60 m <sup>3</sup>	Sebagai wadah penampung beton segar.
	Selang <i>tremi</i>	Sebagai penyambung pada <i>bucket</i> untuk menuangkan beton segar ke kolom.
	Mesin <i>Vibrator</i>	Untuk memadatkan beton segar.

Pada pekerjaan kolom terdapat langkah teknik yang harus dipersiapkan yaitu :

- Pengecekan tulangan dan kondisi bekisting yang sudah siap. Hal ini dilakukan oleh seorang (*Quality Control*).
- Jika sudah dilakukan pengecekan maka langkah selanjutnya ialah mengisi surat ijin cor.
- Setelah pengecekan selesai dilakukan, selanjutnya menyerahkan surat ijin cor kepada pengawas MK.
- Melakukan pengecekan ulang bersama pengawas MK.

- e. Jika hasil lapangan telah memenuhi menurut pengawas MK, selanjutnya penandatanganan surat ijin cor dan area siap dilakukan pengecoran.

Selanjutnya untuk tahapan pekerjaan kolom meliputi :

- a. Memastikan semua tulangan dan bekisting telah dicek.
- b. Pengujian *test slump* dan kuat tekan beton. Pengujian *test slump* bertujuan untuk mengetahui nilai kelecakan suatu beton segar. Pada pekerjaan pengecoran kolom ini tidak dilaksanakan.
- c. Memasukkan beton segar kedalam *bucket* berkapasitas 13,60 m<sup>3</sup>.
- d. Menyambungkan *bucket* dengan *tremi* sepanjang 4 meter.
- e. Menuangkan beton segar ke dalam area kolom siap cor.
- f. Beton yang dituangkan tidak sepenuhnya, melainkan hanya  $\frac{3}{4}$  dari tinggi kolom.
- g. Beton yang telah dituang kemudian dipadatkan dengan mesin *vibrator*.

#### 4.8.4. Pekerjaan Pembongkaran Bekisting

Pekerjaan pembongkaran bekisting kolom dilakukan apabila beton telah cukup umur yakni selama 7-8 jam. Beton yang cukup umur ialah beton yang dapat menahan berat sendiri dan beban dari luar. Bekisting yang telah dibongkar dibersihkan dari sisa-sisa beton yang melekat dan disimpan pada tempat yang terlindungi untuk menjaga bekisting untuk pekerjaan selanjutnya. Pekerjaan pembongkaran bekisting kolom dilakukan dengan tidak mengurangi keamanan dan kemampuan struktur. Alat yang digunakan untuk pekerjaan bekisting meliputi,

**Tabel 4.23.** Alat dan Bahan yang Digunakan dalam Pekerjaan Pembongkaran Bekisting Kolom

Gambar	Alat	Fungsi
	Palu	Untuk membuka paku pada bekisting
	Linggis	Untuk membuka rangkaian papan bekisting

Berikut adalah tahapan pembongkaran bekisting,

- Menyiapkan peralatan yang digunakan untuk pembongkaran.
- Membongkar *clamb* yang terpasang pada sabuk pengikat.
- Membongkar bagian-bagian bekisting kolom dengan hati-hati agar tidak merusak kolom dan bekisting masih dapat digunakan untuk pekerjaan kolom selanjutnya.
- Mengangkut bekisting kolom dengan *mobile crane* ke daerah yang terlindungi.
- Setelah proses pembongkaran bekisting, maka selanjutnya pengecekan hasil cor yang dilakukan oleh *QC*. Jika ditemui hasil cor yang kurang bagus, maka selanjutnya dilakukan perbaikan sesuai dengan instruksi yang *QC* berikan.

## 4.9. Perhitungan Volume

### 4.9.1. Perhitungan Volume Penulangan

#### 4.9.1.1. Lantai Dasar

##### Kolom Struktur

Jumlah titik kolom	= 7 x 26 = 182 titik
Tinggi kolom	= 4500 mm
Tulangan utama	= 8D19
Tulangan geser	= Ø10
Jarak antar tulangan geser	= 150 mm
Tebal selimut beton	= 40 mm
Sambungan lewatan kolom	= 600 mm
Panjang penyaluran ( $L_d$ )	= 740 mm
Bengkokan ( $40d_b$ )	= 760 mm
Kait ( $12d_b$ )	= 228 mm

##### **Tulangan Utama**

- Panjang tulangan utama  

$$L = (\text{Tinggi kolom} + \text{panjang penyaluran} \times 2 + \text{sambungan lewatan}) \times \text{jumlah tulangan}$$

$$= (4500 \text{ mm} + 740 \text{ mm} \times 2 + 600 \text{ mm}) \times 8$$

$$= 52640 \text{ mm}$$
- Bengkokan pada tulangan utama  

$$n = 2 \times \text{jumlah tulangan}$$

$$= 2 \times 8$$

$$= 16 \text{ buah}$$

Jumlah bengkokan per lantai,

$$N = n \times \text{jumlah kolom}$$

$$= 16 \times 182$$

$$= 2912 \text{ buah}$$

$$B = 40d_b \times 16$$

$$= 40 \times 19 \text{ mm} \times 16$$

$$= 12160 \text{ mm}$$
- Kait pada tulangan utama  

$$n = 2 \times \text{jumlah tulangan}$$

$$= 2 \times 8$$

$$\begin{aligned}
 &= 16 \text{ buah} \\
 \text{Jumlah kait per lantai,} \\
 N &= n \times \text{jumlah kolom} \\
 &= 16 \times 182 \\
 &= 2912 \text{ buah} \\
 K &= 228 \text{ mm} \times 16 \\
 &= 3648 \text{ mm} \\
 \text{Berat baja tulangan D19} \\
 B_j &= 7850 \text{ kg/m}^3 \times \text{Luas tulangan} \\
 &= 7850 \text{ kg/m}^3 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 0,019^2 \\
 &= 2,23 \text{ kg/m} \\
 \text{Panjang 1 lonjor tulangan} &= 12 \text{ meter} \\
 \text{Panjang total tulangan} &= 52640 + 12160 + 3648 \\
 &= 68448 \text{ mm} \\
 &= 68,5 \text{ meter} \\
 \text{Berat total tulangan per 1 kolom} \\
 V_{\text{total}} &= 68,5 \text{ meter} \times 2,23 \text{ kg/m} \\
 &= 152,8 \text{ kg} \\
 \text{Berat total tulangan kolom lantai 1} \\
 V &= 152,8 \text{ kg} \times 182 \\
 &= \mathbf{27809,6 \text{ kg}}
 \end{aligned}$$

### **Tulangan Geser/ Beugel**

- Panjang Beugel
 
$$\begin{aligned}
 L &= ((B_{\text{kolom}} - t_{\text{selimut}}) \times 2) + ((H_{\text{kolom}} - t_{\text{selimut}}) \times 2) + \\
 &\quad (4 \times 7 \times \text{diameter tulangan}) \\
 &= ((400 - 40) \times 2) + ((400 - 40) \times 2) + (4 \times 7 \times \\
 &\quad 0,01) \\
 &= 1440,28 \text{ mm}
 \end{aligned}$$
  - Jumlah beugel
 
$$\begin{aligned}
 n &= (\text{Tinggi kolom} / \text{jarak antartulangan}) + 1 \\
 &= (4500 / 150) + 1 \\
 &= 31 \text{ buah}
 \end{aligned}$$
- Jumlah beugel per lantai,
- $$N = n \times \text{jumlah kolom}$$

- $$= 31 \times 182$$
- $$= 5642 \text{ buah}$$
- Jumlah kait
    - $n = 2 \times 31$
    - $= 62 \text{ buah}$
    - Jumlah kait per lantai,
    - $N = n \times \text{jumlah kolom}$
    - $= 62 \times 182$
    - $= 11284 \text{ buah}$
  - Jumlah bengkokan
    - $n = 3 \times 31$
    - $= 63 \text{ buah}$
    - Jumlah bengkokan per lantai,
    - $N = n \times \text{jumlah kolom}$
    - $= 63 \times 182$
    - $= 11466 \text{ buah}$
    - Berat baja tulangan Ø10,
    - $B_j = 7850 \text{ kg/m}^3 \times \text{Luas tulangan}$
    - $= 7850 \text{ kg/m}^3 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 0,010^2$
    - $= 0,62 \text{ kg/m}$
    - Panjang total tulangan geser per 1 kolom,
    - $L_{\text{total}} = 1440,28 \text{ mm} \times 31$
    - $= 44648,68 \text{ mm}$
    - $= 44,7 \text{ meter}$
    - Berat total tulangan per 1 kolom,
    - $V_{\text{total}} = 44,7 \text{ meter} \times 0,62 \text{ kg/m}$
    - $= 27,7 \text{ kg}$
    - Berat total tulangan lantai 1,
    - $V = 27,7 \text{ kg} \times 182$
    - $= \mathbf{5041,4 \text{ kg}}$

### **Kolom lift**

- Jumlah titik kolom  $= 4 \times 24 = 96 \text{ titik}$
- Tinggi kolom  $= 4500 \text{ mm}$
- Tulangan utama  $= 12D22$



Tulangan geser	= Ø10
Jarak antar tulangan geser	= 150 mm
Tebal selimut beton	= 40 mm
Sambungan lewatan kolom	= 650 mm
Panjang penyaluran ( $L_d$ )	= 1040 mm
Bengkokan ( $40d_b$ )	= 880 mm
Kait ( $12d_b$ )	= 264 mm

### **Tulangan Utama**

- Panjang tulangan utama
 
$$L = (\text{Tinggi kolom} + \text{panjang penyaluran} \times 2 + \text{sambungan lewatan}) \times \text{jumlah tulangan}$$

$$= (4500 \text{ mm} + 1040 \text{ mm} \times 2 + 650 \text{ mm}) \times 12$$

$$= 86760 \text{ mm}$$
  - Bengkokan pada tulangan utama
 
$$n = 2 \times \text{jumlah tulangan} \times \text{jumlah kolom}$$

$$= 2 \times 12 \times 96$$

$$= 2304 \text{ buah}$$

$$B = 40d_b \times 24$$

$$= 40 \times 22 \text{ mm} \times 24$$

$$= 21120 \text{ mm}$$
  - Kait pada tulangan utama
 
$$n = 2 \times \text{jumlah tulangan} \times \text{jumlah kolom}$$

$$= 2 \times 12 \times 96$$

$$= 2304 \text{ buah}$$

$$K = 264 \text{ mm} \times 24$$

$$= 6336 \text{ mm}$$
- Berat baja tulangan D22
- $$B_j = 7850 \text{ kg/m}^3 \times \text{Luas tulangan}$$
- $$= 7850 \text{ kg/m}^3 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 0,022^2$$
- $$= 2,98 \text{ kg/m}$$
- Panjang 1 lonjor tulangan = 12 meter
- Panjang total tulangan =  $86760 + 21120 + 6336$
- $$= 114216 \text{ mm}$$
- $$= 114,3 \text{ meter}$$

Berat total tulangan per 1 kolom

$$\begin{aligned} V_{\text{total}} &= 114,3 \text{ meter} \times 2,98 \text{ kg/m} \\ &= 340,614 \text{ kg} \end{aligned}$$

Berat total tulangan kolom per lantai

$$\begin{aligned} V &= 340,614 \text{ kg} \times 96 \\ &= \mathbf{32698,944 \text{ kg}} \end{aligned}$$

### **Tulangan Geser/ Beugel**

- Panjang Beugel

$$\begin{aligned} L &= ((B_{\text{kolom}} - t_{\text{selimut}}) \times 2) + ((H_{\text{kolom}} - t_{\text{selimut}}) \times 2) + \\ & (4 \times 7 \times \text{diameter tulangan}) \\ &= ((400 - 40) \times 2) + ((400 - 40) \times 2) + (4 \times 7 \times \\ & 0,01) \\ &= 1440,28 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Jumlah beugel per 1 kolom

$$\begin{aligned} n &= (\text{Tinggi kolom} / \text{jarak antartulangan}) + 1 \\ &= (4500 / 150) + 1 \\ &= 31 \text{ buah} \end{aligned}$$

- Jumlah kait per lantai

$$\begin{aligned} n &= 2 \times \text{jumlah beugel per 1 kolom} \times \text{jumlah kolom} \\ &= 2 \times 31 \times 96 \\ &= 5952 \text{ buah} \end{aligned}$$

- Jumlah bengkakan per lantai

$$\begin{aligned} n &= 3 \times \text{jumlah beugel per 1 kolom} \times \text{jumlah kolom} \\ &= 3 \times 31 \times 96 \\ &= 8928 \text{ buah} \end{aligned}$$

Berat baja tulangan Ø10,

$$\begin{aligned} B_j &= 7850 \text{ kg/m}^3 \times \text{Luas tulangan} \\ &= 7850 \text{ kg/m}^3 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 0,010^2 \\ &= 0,62 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Panjang total tulangan geser per 1 kolom,

$$\begin{aligned} L_{\text{total}} &= 1440,28 \text{ mm} \times 31 \\ &= 44648,68 \text{ mm} \\ &= 44,7 \text{ meter} \end{aligned}$$

Berat total tulangan per 1 kolom,

$$V_{\text{total}} = 44,7 \text{ meter} \times 0,62 \text{ kg/m}$$

$$= 27,714 \text{ kg}$$

Berat total tulangan per lantai,

$$V = 27,714 \text{ kg} \times 96$$

$$= \mathbf{2660,544 \text{ kg}}$$

#### 4.9.1.2. Lantai 1,2, dan 3 (Typikal)

##### Kolom Struktur

Jumlah titik kolom	= 7 x 26 = 182 titik
Tinggi kolom	= 3570 mm
Tulangan utama	= 12D22
Tulangan geser	= Ø10
Jarak antar tulangan geser	= 150 mm
Tebal selimut beton	= 40 mm
Sambungan lewatan kolom	= 650 mm
Panjang penyaluran ( $L_d$ )	= 1040 mm
Bengkokan ( $40d_b$ )	= 880 mm
Kait ( $12d_b$ )	= 264 mm

##### **Tulangan Utama**

- Panjang tulangan utama
 
$$L = (\text{Tinggi kolom} + \text{panjang penyaluran} \times 2 + \text{sambungan lewatan}) \times \text{jumlah tulangan}$$

$$= (3570 \text{ mm} + 1040 \text{ mm} \times 2 + 650 \text{ mm}) \times 12$$

$$= 75600 \text{ mm}$$
- Bengkokan pada tulangan utama
 
$$n = 2 \times \text{jumlah tulangan} \times \text{jumlah kolom}$$

$$= 2 \times 12 \times 182$$

$$= 4368 \text{ buah}$$

$$B = 40d_b \times 24$$

$$= 40 \times 22 \text{ mm} \times 24$$

$$= 21120 \text{ mm}$$
- Kait pada tulangan utama
 
$$n = 2 \times \text{jumlah tulangan} \times \text{jumlah kolom}$$

$$= 2 \times 12 \times 182$$

$$= 4368 \text{ buah}$$

$$\begin{aligned} K &= 264 \text{ mm} \times 24 \\ &= 6336 \text{ mm} \end{aligned}$$

Berat baja tulangan D22

$$\begin{aligned} B_j &= 7850 \text{ kg/m}^3 \times \text{Luas tulangan} \\ &= 7850 \text{ kg/m}^3 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 0,022^2 \\ &= 2,98 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Panjang 1 lonjor tulangan = 12 meter

$$\begin{aligned} \text{Panjang total tulangan} &= 75600 + 21120 + 6336 \\ &= 103056 \text{ mm} \\ &= 103,1 \text{ meter} \end{aligned}$$

Berat total tulangan per 1 kolom

$$\begin{aligned} V_{\text{total}} &= 103,1 \text{ meter} \times 2,98 \text{ kg/m} \\ &= 307,238 \text{ kg} \end{aligned}$$

Berat total tulangan kolom per lantai

$$\begin{aligned} V &= 307,238 \text{ kg} \times 182 \\ &= 55917,316 \text{ kg} \end{aligned}$$

Berat total tulangan lantai 1,2, dan 3

$$\begin{aligned} V_{\text{seluruh}} &= 55917,316 \text{ kg} \times 3 \text{ lantai} \\ &= \mathbf{167751,948 \text{ kg}} \end{aligned}$$

### **Tulangan Geser/ Beugel**

- Panjang Beugel

$$\begin{aligned} L &= ((B_{\text{kolom}} - t_{\text{selimut}}) \times 2) + ((H_{\text{kolom}} - t_{\text{selimut}}) \times 2) + \\ &\quad (4 \times 7 \times \text{diameter tulangan}) \\ &= ((400 - 40) \times 2) + ((400 - 40) \times 2) + (4 \times 7 \times \\ &\quad 0,01) \\ &= 1440,28 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Jumlah beugel per 1 kolom

$$\begin{aligned} n &= (\text{Tinggi kolom} / \text{jarak antartulangan}) + 1 \\ &= (3570 / 150) + 1 \\ &= 24,8 \text{ buah} \\ &\approx 25 \text{ buah} \end{aligned}$$

- Jumlah kait per lantai

$$\begin{aligned} n &= 2 \times \text{jumlah beugel per 1 kolom} \times \text{jumlah kolom} \\ &= 2 \times 25 \times 182 \end{aligned}$$

- = 9100 buah
- Jumlah bengkokan per lantai
  - $n = 3 \times \text{jumlah beugel per 1 kolom} \times \text{jumlah kolom}$
  - $= 3 \times 25 \times 182$
  - $= 13650 \text{ buah}$
- Berat baja tulangan Ø10,
  - $B_j = 7850 \text{ kg/m}^3 \times \text{Luas tulangan}$
  - $= 7850 \text{ kg/m}^3 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 0,010^2$
  - $= 0,62 \text{ kg/m}$
- Panjang total tulangan geser per 1 kolom,
  - $L_{\text{total}} = 1440,28 \text{ mm} \times 25$
  - $= 36007 \text{ mm}$
  - $= 36,007 \text{ meter}$
  - $\approx 36,01 \text{ meter}$
- Berat total tulangan per 1 kolom,
  - $V_{\text{total}} = 36,01 \text{ meter} \times 0,62 \text{ kg/m}$
  - $= 22,3262 \text{ kg}$
- Berat total tulangan per lantai,
  - $V = 22,3262 \text{ kg} \times 182$
  - $= 4063,3684 \text{ kg}$
- Berat total tulangan geser lantai 1,2, dan 3,
  - $V_{\text{seluruh}} = 4063,3684 \text{ kg} \times 3$
  - $= \mathbf{12190,1052 \text{ kg}}$

### **Kolom lift**

Jumlah titik kolom	$= 4 \times 24 = 96 \text{ titik}$
Tinggi kolom	$= 3570 \text{ mm}$
Tulangan utama	$= 12D22$
Tulangan geser	$= \text{Ø}10$
Jarak antar tulangan geser	$= 150 \text{ mm}$
Tebal selimut beton	$= 40 \text{ mm}$
Sambungan lewatan kolom	$= 650 \text{ mm}$
Panjang penyaluran ( $L_d$ )	$= 1040 \text{ mm}$
Bengkokan ( $40d_b$ )	$= 880 \text{ mm}$
Kait ( $12d_b$ )	$= 264 \text{ mm}$

### **Tulangan Utama**

- Panjang tulangan utama
 
$$\begin{aligned}
 L &= (\text{Tinggi kolom} + \text{panjang penyaluran} \times 2 + \\
 &\quad \text{sambungan lewatan}) \times \text{jumlah tulangan} \\
 &= (3570 \text{ mm} + 1040 \text{ mm} \times 2 + 650 \text{ mm}) \times 12 \\
 &= 75600 \text{ mm}
 \end{aligned}$$
- Bengkokan pada tulangan utama
 
$$\begin{aligned}
 n &= 2 \times \text{jumlah tulangan} \times \text{jumlah kolom} \\
 &= 2 \times 12 \times 96 \\
 &= 2304 \text{ buah} \\
 B &= 40d_b \times 24 \\
 &= 40 \times 22 \text{ mm} \times 24 \\
 &= 21120 \text{ mm}
 \end{aligned}$$
- Kait pada tulangan utama
 
$$\begin{aligned}
 n &= 2 \times \text{jumlah tulangan} \times \text{jumlah kolom} \\
 &= 2 \times 12 \times 96 \\
 &= 2304 \text{ buah} \\
 K &= 264 \text{ mm} \times 24 \\
 &= 6336 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Berat baja tulangan D22

$$\begin{aligned}
 B_j &= 7850 \text{ kg/m}^3 \times \text{Luas tulangan} \\
 &= 7850 \text{ kg/m}^3 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 0,022^2 \\
 &= 2,98 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$

Panjang 1 lonjor tulangan = 12 meter

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang total tulangan} &= 75600 + 21120 + 6336 \\
 &= 103056 \text{ mm} \\
 &= 103,1 \text{ meter}
 \end{aligned}$$

Berat total tulangan per 1 kolom

$$\begin{aligned}
 V_{\text{total}} &= 103,1 \text{ meter} \times 2,98 \text{ kg/m} \\
 &= 307,238 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Berat total tulangan kolom per lantai

$$\begin{aligned}
 V &= 307,238 \text{ kg} \times 96 \\
 &= 29494,848 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Berat total tulangan lantai 1,2, dan 3

$$V_{\text{seluruh}} = 29494,848 \text{ kg} \times 3 \text{ lantai}$$

$$= \mathbf{88484,544 \text{ kg}}$$

### **Tulangan Geser/ Beugel**

- Panjang Beugel

$$L = ((B_{\text{kolom}} - t_{\text{selimut}}) \times 2) + ((H_{\text{kolom}} - t_{\text{selimut}}) \times 2) + (4 \times 7 \times \text{diameter tulangan})$$

$$= ((400 - 40) \times 2) + ((400 - 40) \times 2) + (4 \times 7 \times 0,01)$$

$$= 1440,28 \text{ mm}$$

- Jumlah beugel per 1 kolom

$$n = (\text{Tinggi kolom} / \text{jarak antartulangan}) + 1$$

$$= (3570 / 150) + 1$$

$$= 24,8 \text{ buah}$$

$$\approx 25 \text{ buah}$$

- Jumlah kait per lantai

$$n = 2 \times \text{jumlah beugel per 1 kolom} \times \text{jumlah kolom}$$

$$= 2 \times 25 \times 96$$

$$= 4800 \text{ buah}$$

- Jumlah bengkokan per lantai

$$n = 3 \times \text{jumlah beugel per 1 kolom} \times \text{jumlah kolom}$$

$$= 3 \times 25 \times 96$$

$$= 7200 \text{ buah}$$

Berat baja tulangan Ø10,

$$B_j = 7850 \text{ kg/m}^3 \times \text{Luas tulangan}$$

$$= 7850 \text{ kg/m}^3 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 0,010^2$$

$$= 0,62 \text{ kg/m}$$

Panjang total tulangan geser per 1 kolom,

$$L_{\text{total}} = 1440,28 \text{ mm} \times 25$$

$$= 36007 \text{ mm}$$

$$= 36,007 \text{ meter}$$

$$\approx 36,01 \text{ meter}$$

Berat total tulangan per 1 kolom,

$$V_{\text{total}} = 36,01 \text{ meter} \times 0,62 \text{ kg/m}$$

$$= 22,3262 \text{ kg}$$

Berat total tulangan per lantai,

$$\begin{aligned} V &= 22,3262 \text{ kg} \times 96 \\ &= 2143,3152 \text{ kg} \end{aligned}$$

Berat total tulangan geser lantai 1,2, dan 3,

$$\begin{aligned} V_{\text{seluruh}} &= 2143,3152 \text{ kg} \times 3 \\ &= \mathbf{6429,9456 \text{ kg}} \end{aligned}$$

#### 4.9.1.3. Di Bawah Sloof

##### Kolom Struktur

Jumlah titik kolom	= 7 x 26 = 182 titik
Tinggi kolom	= 1000 mm
Tulangan utama	= 8D19
Tulangan geser	= Ø10
Jarak antar tulangan geser	= 150 mm
Tebal selimut beton	= 40 mm
Sambungan lewatan kolom	= 600 mm
Panjang penyaluran ( $L_d$ )	= 740 mm
Bengkokan ( $40d_b$ )	= 760 mm
Kait ( $12d_b$ )	= 228 mm

- Panjang tulangan utama  

$$\begin{aligned} L &= (\text{Tinggi kolom} + \text{panjang penyaluran} \times 2 + \\ &\text{sambungan lewatan}) \times \text{jumlah tulangan} \\ &= (1000 \text{ mm} + 740 \text{ mm} \times 2 + 600 \text{ mm}) \times 8 \\ &= 24640 \text{ mm} \end{aligned}$$
  - Bengkokan pada tulangan utama  

$$\begin{aligned} n &= 2 \times \text{jumlah tulangan} \\ &= 2 \times 8 \\ &= 16 \text{ buah} \end{aligned}$$
- Jumlah bengkokan per lantai,
- $$\begin{aligned} N &= n \times \text{jumlah kolom} \\ &= 16 \times 182 \\ &= 2912 \text{ buah} \end{aligned}$$
- $$\begin{aligned} B &= 40d_b \times 16 \\ &= 40 \times 19 \text{ mm} \times 16 \\ &= 12160 \text{ mm} \end{aligned}$$



- Kait pada tulangan utama
 
$$\begin{aligned}
 n &= 2 \times \text{jumlah tulangan} \\
 &= 2 \times 8 \\
 &= 16 \text{ buah}
 \end{aligned}$$
 Jumlah kait per lantai,  

$$\begin{aligned}
 N &= n \times \text{jumlah kolom} \\
 &= 16 \times 182 \\
 &= 2912 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 K &= 228 \text{ mm} \times 16 \\
 &= 3648 \text{ mm}
 \end{aligned}$$
 Berat baja tulangan D19  

$$\begin{aligned}
 B_j &= 7850 \text{ kg/m}^3 \times \text{Luas tulangan} \\
 &= 7850 \text{ kg/m}^3 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 0,019^2 \\
 &= 2,23 \text{ kg/m}
 \end{aligned}$$
 Panjang 1 lonjor tulangan = 12 meter  

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang total tulangan} &= 24640 + 12160 + 3648 \\
 &= 40448 \text{ mm} \\
 &= 40,5 \text{ meter}
 \end{aligned}$$
 Berat total tulangan per 1 kolom  

$$\begin{aligned}
 V_{\text{total}} &= 40,5 \text{ meter} \times 2,23 \text{ kg/m} \\
 &= 90,315 \text{ kg}
 \end{aligned}$$
 Berat total tulangan kolom  

$$\begin{aligned}
 V &= 90,315 \text{ kg} \times 182 \\
 &= \mathbf{16437,33 \text{ kg}}
 \end{aligned}$$

### **Tulangan Geser/ Beugel**

- Panjang Beugel
 
$$\begin{aligned}
 L &= ((B_{\text{kolom}} - t_{\text{selimut}}) \times 2) + ((H_{\text{kolom}} - t_{\text{selimut}}) \times 2) + \\
 & (4 \times 7 \times \text{diameter tulangan}) \\
 &= ((400 - 40) \times 2) + ((400 - 40) \times 2) + (4 \times 7 \times \\
 & 0,01) \\
 &= 1440,28 \text{ mm}
 \end{aligned}$$
- Jumlah beugel
 
$$\begin{aligned}
 n &= (\text{Tinggi kolom} / \text{jarak antartulangan}) + 1 \\
 &= (1000 / 150) + 1
 \end{aligned}$$

$$= 8 \text{ buah}$$

Jumlah beugel per lantai,

$$\begin{aligned} N &= n \times \text{jumlah kolom} \\ &= 8 \times 182 \\ &= 1456 \text{ buah} \end{aligned}$$

- Jumlah kait

$$\begin{aligned} n &= 2 \times 8 \\ &= 16 \text{ buah} \end{aligned}$$

Jumlah kait per lantai,

$$\begin{aligned} N &= n \times \text{jumlah kolom} \\ &= 16 \times 182 \\ &= 2912 \text{ buah} \end{aligned}$$

- Jumlah bengkokan

$$\begin{aligned} n &= 3 \times 8 \\ &= 24 \text{ buah} \end{aligned}$$

Jumlah bengkokan per lantai,

$$\begin{aligned} N &= n \times \text{jumlah kolom} \\ &= 24 \times 182 \\ &= 4368 \text{ buah} \end{aligned}$$

Berat baja tulangan Ø10,

$$\begin{aligned} B_j &= 7850 \text{ kg/m}^3 \times \text{Luas tulangan} \\ &= 7850 \text{ kg/m}^3 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 0,010^2 \\ &= 0,62 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

Panjang total tulangan geser per 1 kolom,

$$\begin{aligned} L_{\text{total}} &= 1440,28 \text{ mm} \times 8 \\ &= 11522,24 \text{ mm} \\ &= 11,6 \text{ meter} \end{aligned}$$

Berat total tulangan per 1 kolom,

$$\begin{aligned} V_{\text{total}} &= 11,6 \text{ meter} \times 0,62 \text{ kg/m} \\ &= 7,192 \text{ kg} \end{aligned}$$

Berat total tulangan,

$$\begin{aligned} V &= 7,192 \text{ kg} \times 182 \\ &= \mathbf{1308,944 \text{ kg}} \end{aligned}$$

Kolom lift

Jumlah titik kolom	= 4 x 24 = 96 titik
Tinggi kolom	= 1400 mm
Tulangan utama	= 12D22
Tulangan geser	= Ø10
Jarak antar tulangan geser	= 150 mm
Tebal selimut beton	= 40 mm
Sambungan lewatan kolom	= 650 mm
Panjang penyaluran ( $L_d$ )	= 1040 mm
Bengkokan ( $40d_b$ )	= 880 mm
Kait ( $12d_b$ )	= 264 mm

**Tulangan Utama**

- Panjang tulangan utama
 
$$L = (\text{Tinggi kolom} + \text{panjang penyaluran} \times 2 + \text{sambungan lewatan}) \times \text{jumlah tulangan}$$

$$= (1400 \text{ mm} + 1040 \text{ mm} \times 2 + 650 \text{ mm}) \times 12$$

$$= 49560 \text{ mm}$$
  - Bengkokan pada tulangan utama
 
$$n = 2 \times \text{jumlah tulangan} \times \text{jumlah kolom}$$

$$= 2 \times 12 \times 96$$

$$= 2304 \text{ buah}$$

$$B = 40d_b \times 24$$

$$= 40 \times 22 \text{ mm} \times 24$$

$$= 21120 \text{ mm}$$
  - Kait pada tulangan utama
 
$$n = 2 \times \text{jumlah tulangan} \times \text{jumlah kolom}$$

$$= 2 \times 12 \times 96$$

$$= 2304 \text{ buah}$$

$$K = 264 \text{ mm} \times 24$$

$$= 6336 \text{ mm}$$
- Berat baja tulangan D22
- $$B_j = 7850 \text{ kg/m}^3 \times \text{Luas tulangan}$$
- $$= 7850 \text{ kg/m}^3 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 0,022^2$$
- $$= 2,98 \text{ kg/m}$$

Panjang 1 lonjor tulangan = 12 meter

$$\begin{aligned}\text{Panjang total tulangan} &= 49560 + 21120 + 6336 \\ &= 77016 \text{ mm} \\ &= 77,1 \text{ meter}\end{aligned}$$

Berat total tulangan per 1 kolom

$$\begin{aligned}V_{\text{total}} &= 77,1 \text{ meter} \times 2,98 \text{ kg/m} \\ &= 229,758 \text{ kg}\end{aligned}$$

Berat total tulangan kolom per lantai

$$\begin{aligned}V &= 229,758 \text{ kg} \times 96 \\ &= \mathbf{22056,768 \text{ kg}}\end{aligned}$$

### **Tulangan Geser/ Beugel**

- Panjang Beugel

$$\begin{aligned}L &= ((B_{\text{kolom}} - t_{\text{selimut}}) \times 2) + ((H_{\text{kolom}} - t_{\text{selimut}}) \times 2) + \\ & (4 \times 7 \times \text{diameter tulangan}) \\ &= ((400 - 40) \times 2) + ((400 - 40) \times 2) + (4 \times 7 \times \\ & 0,01) \\ &= 1440,28 \text{ mm}\end{aligned}$$

- Jumlah beugel per 1 kolom

$$\begin{aligned}n &= (\text{Tinggi kolom} / \text{jarak antartulangan}) + 1 \\ &= (1400 / 150) + 1 \\ &= 10,3 \text{ buah} \\ &\approx 11 \text{ buah}\end{aligned}$$

- Jumlah kait per lantai

$$\begin{aligned}n &= 2 \times \text{jumlah beugel per 1 kolom} \times \text{jumlah kolom} \\ &= 2 \times 11 \times 96 \\ &= 2112 \text{ buah}\end{aligned}$$

- Jumlah bengkakan per lantai

$$\begin{aligned}n &= 3 \times \text{jumlah beugel per 1 kolom} \times \text{jumlah kolom} \\ &= 3 \times 11 \times 96 \\ &= 3168 \text{ buah}\end{aligned}$$

Berat baja tulangan Ø10,

$$\begin{aligned}B_j &= 7850 \text{ kg/m}^3 \times \text{Luas tulangan} \\ &= 7850 \text{ kg/m}^3 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 0,010^2 \\ &= 0,62 \text{ kg/m}\end{aligned}$$

Panjang total tulangan geser per 1 kolom,

$$\begin{aligned} L_{\text{total}} &= 1440,28 \text{ mm} \times 11 \\ &= 15843,08 \text{ mm} \\ &= 15,9 \text{ meter} \end{aligned}$$

Berat total tulangan per 1 kolom,

$$\begin{aligned} V_{\text{total}} &= 15,9 \text{ meter} \times 0,62 \text{ kg/m} \\ &= 9,858 \text{ kg} \end{aligned}$$

Berat total tulangan per lantai,

$$\begin{aligned} V &= 9,858 \text{ kg} \times 96 \\ &= \mathbf{946,368 \text{ kg}} \end{aligned}$$

#### 4.9.1.4. Kolom lift atap

Jumlah titik kolom	= 4 x 24 = 96 titik
Tinggi kolom	= 2425 mm
Tulangan utama	= 12D22
Tulangan geser	= Ø10
Jarak antar tulangan geser	= 150 mm
Tebal selimut beton	= 40 mm
Sambungan lewatan kolom	= 650 mm
Panjang penyaluran ( $L_d$ )	= 1040 mm
Bengkokan ( $40d_b$ )	= 880 mm
Kait ( $12d_b$ )	= 264 mm

#### Tulangan Utama

- Panjang tulangan utama
 
$$\begin{aligned} L &= (\text{Tinggi kolom} + \text{panjang penyaluran} \times 2 + \\ &\text{sambungan lewatan}) \times \text{jumlah tulangan} \\ &= (2425 \text{ mm} + 1040 \text{ mm} \times 2 + 650 \text{ mm}) \times 12 \\ &= 61860 \text{ mm} \end{aligned}$$
- Bengkokan pada tulangan utama
 
$$\begin{aligned} n &= 2 \times \text{jumlah tulangan} \times \text{jumlah kolom} \\ &= 2 \times 12 \times 96 \\ &= 2304 \text{ buah} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} B &= 40d_b \times 24 \\ &= 40 \times 22 \text{ mm} \times 24 \\ &= 21120 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Kait pada tulangan utama
  - $n = 2 \times \text{jumlah tulangan} \times \text{jumlah kolom}$
  - $= 2 \times 12 \times 96$
  - $= 2304 \text{ buah}$
  - $K = 264 \text{ mm} \times 24$
  - $= 6336 \text{ mm}$
  - Berat baja tulangan D22
  - $B_j = 7850 \text{ kg/m}^3 \times \text{Luas tulangan}$
  - $= 7850 \text{ kg/m}^3 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 0,022^2$
  - $= 2,98 \text{ kg/m}$
  - Panjang 1 lonjor tulangan = 12 meter
  - Panjang total tulangan  $= 61860 + 21120 + 6336$
  - $= 89316 \text{ mm}$
  - $= 89,4 \text{ meter}$
  - Berat total tulangan per 1 kolom
  - $V_{\text{total}} = 89,4 \text{ meter} \times 2,98 \text{ kg/m}$
  - $= 266,412 \text{ kg}$
  - Berat total tulangan kolom per lantai
  - $V = 266,412 \text{ kg} \times 96$
  - $= \mathbf{25575,552 \text{ kg}}$

### **Tulangan Geser/ Beugel**

- Panjang Beugel
  - $L = ((B_{\text{kolom}} - t_{\text{selimut}}) \times 2) + ((H_{\text{kolom}} - t_{\text{selimut}}) \times 2) + (4 \times 7 \times \text{diameter tulangan})$
  - $= ((400 - 40) \times 2) + ((400 - 40) \times 2) + (4 \times 7 \times 0,01)$
  - $= 1440,28 \text{ mm}$
- Jumlah beugel per 1 kolom
  - $n = (\text{Tinggi kolom} / \text{jarak antartulangan}) + 1$
  - $= (2425 / 150) + 1$
  - $= 17,16 \text{ buah}$
  - $\approx 18 \text{ buah}$
- Jumlah kait
  - $n = 2 \times \text{jumlah beugel per 1 kolom} \times \text{jumlah kolom}$

$$= 2 \times 18 \times 96$$

$$= 3456 \text{ buah}$$

- Jumlah bengkokan  
 $n = 3 \times \text{jumlah beugel per 1 kolom} \times \text{jumlah kolom}$   
 $= 3 \times 18 \times 96$   
 $= 5184 \text{ buah}$

Berat baja tulangan Ø10,

$$B_j = 7850 \text{ kg/m}^3 \times \text{Luas tulangan}$$

$$= 7850 \text{ kg/m}^3 \times \frac{1}{4} \times \pi \times 0,010^2$$

$$= 0,62 \text{ kg/m}$$

Panjang total tulangan geser per 1 kolom,

$$L_{\text{total}} = 1440,28 \text{ mm} \times 18$$

$$= 25925,04 \text{ mm}$$

$$= 26 \text{ meter}$$

Berat total tulangan per 1 kolom,

$$V_{\text{total}} = 26 \text{ meter} \times 0,62 \text{ kg/m}$$

$$= 16,12 \text{ kg}$$

Berat total tulangan

$$V = 16,12 \text{ kg} \times 96$$

$$= \mathbf{1547,52 \text{ kg}}$$

#### 4.9.1.5. Rekapitulasi Volume Penulangan Kolom

Tabel 4.24. Rekapitulasi Volume Penulangan

Type Kolom	Lantai	Volume Tul.Utama (kg)	Volume Tul.Geser (kg)	Volume Total
Kolom Struktur	Lantai Dasar	27809,6	5041,4	32851
Kolom Lift		32698,944	2660,544	35359,488
Kolom Struktur	Lantai 1	55917,316	4063,3684	59980,6844
Kolom Lift		29494,848	2143,3152	31638,1632
Kolom Struktur	Lantai 2	55917,316	4063,3684	59980,6844
Kolom Lift		29494,848	2143,3152	31638,1632

Type Kolom	Lantai	Volume Tul.Utama (kg)	Volume Tul.Geser (kg)	Volume Total
Kolom Struktur	Lantai 3	55917,316	4063,3684	59980,6844
Kolom Lift		29494,848	2143,3152	31638,1632
Kolom Struktur	Di bawah Sloof	16437,33	1308,944	17746,274
Kolom Lift		22056,768	946,368	23003,136
Kolom Lift	Atap	25575,552	1547,52	27123,072
Volume		380824,686	30124,8268	424831,402

**Tabel 4.25.** Jumlah Tulangan Yang Dibutuhkan

Type Kolom	Lantai	Panjang Tul.Utama (m)	Panjang Tul.Geser (m)	Total (m)	Jumlah tulangan (n)
Kolom Struktur	Lantai Dasar	12467	8135,4	20602.4	1717
Kolom Lift		10972,8	4291,2	15264	9
Kolom Struktur	Lantai 1	18764,2	6553,82	25318.02	2814
Kolom Lift		9879,6	3456,96	13336.56	5
Kolom Struktur	Lantai 2	18764,2	6553,82	25318.02	5064
Kolom Lift		9879,6	3456,96	13336.56	3
Kolom Struktur	Lantai 3	18764,2	6553,82	25318.02	8440
Kolom Lift		9879,6	3456,96	13336.56	2
Kolom Struktur	Di bawah Sloof	7371	2111,2	9482.2	4742
Kolom Lift		7401,6	1526,4	8928	2



Type Kolom	Lantai	Panjang Tul.Utama (m)	Panjang Tul.Geser (m)	Total (m)	Jumlah tulangan (n)
Kolom Lift	Atap	8582,4	2496	11078.4	5540

**Tabel 4.26.** Rekapitulasi Jumlah Bengkokan dan Kaitan

Type Kolom	Lantai	Tul. Utama		Tul. Geser	
		Bengkokan	Kaitan	Bengkokan	Kaitan
Kolom Struktur	Lantai Dasar	2912	2912	11466	11284
Kolom Lift		2304	2304	8928	5952
Kolom Struktur	Lantai 1	4368	4368	13650	9100
Kolom Lift		2304	2304	7200	4800
Kolom Struktur	Lantai 2	4368	4368	13650	9100
Kolom Lift		2304	2304	7200	4800
Kolom Struktur	Lantai 3	4368	4368	13650	9100
Kolom Lift		2304	2304	7200	4800
Kolom Struktur	Di bawah Sloof	2912	2912	4368	2912
Kolom Lift		2304	2304	3168	2112
Kolom Lift	Atap	2304	2304	5184	3456

#### 4.9.2. Perhitungan Volume Cor Beton

Diketahui :

Jumlah kolom struktur = 182 buah

Jumlah kolom lift	= 96 buah
Dimensi kolom lift	= 40 x 40
Dimensi kolom struktur	= 40 x 40
Tinggi kolom lantai dasar	= 4,5 meter
Tinggi kolom lantai 1	= 3,57 meter
Tinggi kolom lantai 2	= 3,57 meter
Tinggi kolom lantai 3	= 3,57 meter
Tinggi kolom atap	= 2,425 meter
Tinggi kolom lift (bawah)	= 1,40 meter
Tinggi kolom pendek	= 1,00 meter

**Tabel 4.27. Rekapitulasi Perhitungan Volume Cor Beton**

Lantai	Type	Dimensi		Tinggi (m)	Jumlah (n)	BJ beton bertulang (kg/m <sup>3</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )
		b (m)	h (m)				
Dasar	K1	0,4	0,4	4,5	182	2400	314496
	K2	0,4	0,4	4,5	96	2400	165888
Lantai 1	K1	0,4	0,4	3,57	182	2400	249500.16
	K2	0,4	0,4	3,57	96	2400	131604.48
Lantai 2	K1	0,4	0,4	3,57	182	2400	249500.16
	K2	0,4	0,4	3,57	96	2400	131604.48
Lantai 3	K1	0,4	0,4	3,57	182	2400	249500.16
	K2	0,4	0,4	3,57	96	2400	131604.48
Di bawah sloof	K1	0,4	0,4	1,00	182	2400	69888
	K2	0,4	0,4	1,40	96	2400	51609.6
Atap	K2	0,4	0,4	2,425	96	2400	169478.4
Total							1914673.92

#### 4.9.3. Perhitungan Volume Bekisting

Diketahui :

Jumlah kolom struktur	= 182 buah
Jumlah kolom lift	= 96 buah
Dimensi kolom lift	= 40 x 40
Dimensi kolom struktur	= 40 x 40
Tinggi kolom lantai dasar	= 4,5 meter
Tinggi kolom lantai 1	= 3,57 meter

Tinggi kolom lantai 2	= 3,57 meter
Tinggi kolom lantai 3	= 3,57 meter
Tinggi kolom atap	= 2,425 meter
Tinggi kolom lift (bawah)	= 1,40 meter
Tinggi kolom pendek	= 1,00 meter

**Tabel 4.28.** Rekapitulasi Perhitungan Volume Bekisting

Lantai	Type	Dimensi		Tinggi (m)	Jumlah (n)	Volume (m <sup>2</sup> )
		b (m)	h (m)			
Dasar	K1	0,4	0,4	4,5	182	2620.8
	K2	0,4	0,4	4,5	96	1382.4
Lantai 1	K1	0,4	0,4	3,57	182	2079.2
	K2	0,4	0,4	3,57	96	1096.7
Lantai 2	K1	0,4	0,4	3,57	182	2079.2
	K2	0,4	0,4	3,57	96	1096.7
Lantai 3	K1	0,4	0,4	3,57	182	2079.2
	K2	0,4	0,4	3,57	96	1096.7
Di bawah sloof	K1	0,4	0,4	1,00	182	582.4
	K2	0,4	0,4	1,40	96	430.1
Atap	K2	0,4	0,4	2,425	96	1412.3
Total						15955.6

## 4.10. Perhitungan Durasi Pekerjaan

### 4.10.1. Lantai Dasar

#### 4.10.1.1. Pekerjaan Pembesian

- ✓ Volume = 68209,488 kg
- ✓ Dimensi Kolom = 40 x 40
- ✓ Jumlah K1 = 182 buah
- ✓ Jumlah K2 = 96 buah
- ✓ Diameter tulangan utama
  - Kolom K1 = 8 D 19
  - Kolom K2 = 12 D 22
- ✓ Sengkang
  - Kolom K1 = Ø 10
  - Kolom K2 = Ø 10

- ✓ Panjang per 1 tulangan kolom  
 D19 = 6,58 meter  
 D22 = 7,23 meter
- ✓ Panjang Tulangan Total  
 D19 = 12467 meter  
 D22 = 10972,8 meter  
 Ø10 = 12426,6 meter
- ✓ Jumlah Tulangan  
 D19 = 1039 buah  
 D22 = 1039 buah  
 Ø10 = 915 buah
- ✓ Jumlah Kait  
 D19 = 2912 buah  
 D22 = 2304 buah  
 Ø10 = 17236 buah
- ✓ Jumlah Bengkokan  
 D19 = 2912 buah  
 D22 = 2304 buah  
 Ø10 = 20394 buah

**Tabel 4.29.** Jam kerja buruh yang dibutuhkan untuk memasang 100 buah batang tulangan

Ukuran Besi beton	Dengan Tangan		Dengan Mesin	
	Bengkokan (jam)	Kait (jam)	Bengkokan (jam)	Kait (jam)
½" (12mm)	2 – 4	3 - 6	0.8 – 1.5	1.2 – 2.5
5/8 " (16mm)	2.5 - 5	4 - 8	1 - 2	1.6 - 3
¾ " (19 mm)				
7/8" (22mm)				
1" (25mm)	3 - 6	5 - 10	1.2 – 2.5	2 – 4
1 1/8" (28.5mm)				
1 ¼" (31.75mm)	4 - 7	6 - 12	1.5 - 3	2.5 - 5

Ukuran Besi beton	Dengan Tangan		Dengan Mesin	
	Bengkokan (jam)	Kait (jam)	Bengkokan (jam)	Kait (jam)
1 ½” (38.1mm)				

Sumber : *Analisa (cara modern) Anggaran Biaya Pelaksanaan*” oleh Ir. A Soedrajat. S) halaman 92

**Tabel 4.30.** Jam kerja buruh yang dibutuhkan untuk memasang 100 buah batang tulangan

Ukuran besi beton	Panjang batang tulangan (m)		
	Dibawah 3 m	3 – 6 m	6 – 9 m
½” (12mm)	3.5 - 6	5 – 7	6 – 8
5/8 “ (16mm)	4.5 - 7	6 – 8.5	7 – 9.5
¾ “ (19 mm)			
7/8” (22mm)			
1” (25mm)	5.5 – 8	7 – 10	8.5 – 11.5
1 1/8” (28.5mm)			
1 ¼” (31.75mm)	6.5 – 9	8 – 12	10 - 14
1 ½” (38.1mm)			

Sumber : *Analisa (cara modern) Anggaran Biaya Pelaksanaan*” oleh Ir. A Soedrajat. S) halaman 92

Kapasitas produksi (Qt)

$$\text{Kaitan D19,D22} = \frac{2,3 \text{ jam}}{100 \text{ kaitan}}$$

$$\text{Kaitan } \emptyset 10 = \frac{1,85 \text{ jam}}{100 \text{ kaitan}}$$

$$\text{Bengkokan } \emptyset 10 = \frac{1,15 \text{ jam}}{100 \text{ kaitan}}$$

$$\text{Bengkokan D19,D22} = \frac{1,5 \text{ jam}}{100 \text{ kaitan}}$$

$$\text{Batang tulangan} = \frac{7,5 \text{ jam}}{100 \text{ kaitan}}$$

$$= \frac{7,5 \text{ jam}}{100 \text{ kaitan}}$$

Durasi pekerjaan adalah total volume dibagi kapasitas perhari, jumlah tenaga kerja dalam 1 grup terdiri dari 1 mandor, 1 tukang besi, 1 pembantu tukang.

$$\begin{aligned}\text{Durasi kaitan D19,D22} &= \frac{\frac{2912+2304}{100} \times 2,3 \text{ jam}}{8 \text{ jam/hari} \times 1 \text{ grup}} \\ &= 14,99 \text{ hari}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Durasi kaitan } \emptyset 10 &= \frac{\frac{17236}{100} \times 1,85 \text{ jam}}{8 \text{ jam/hari} \times 1 \text{ grup}} \\ &= 39,85 \text{ hari}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Total durasi kaitan} &= (14,99 + 39,85) \text{ hari} \\ &= 54,85 \text{ hari}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Durasi bengkokan D19,D22} &= \frac{\frac{2912+2304}{100} \times 1,5 \text{ jam}}{8 \text{ jam/hari} \times 1 \text{ grup}} \\ &= 14,99 \text{ hari}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Durasi bengkokan } \emptyset 10 &= \frac{\frac{20394}{100} \times 1,15 \text{ jam}}{8 \text{ jam/hari} \times 1 \text{ grup}} \\ &= 29,31 \text{ hari}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Total durasi bengkokan} &= (14,99 + 29,31) \text{ hari} \\ &= 44,3 \text{ hari}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Durasi batang tulangan} &= \frac{\frac{1039+1039}{100} \times 6,5 \text{ jam}}{8 \text{ jam/hari} \times 1 \text{ grup}} \\ &= 16,88 \text{ hari}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Total durasi pekerjaan pembesian} &= 54,85 \text{ hari} + 44,3 \text{ hari} + 16,88 \text{ hari} \\ &= 116,03 \text{ hari/ 1 grup/ 1 zona}\end{aligned}$$

#### 4.10.1.2. Pekerjaan Bekisting

**Tabel 4.31.** Keperluan tenaga buruh untuk pekerjaan cetakan beton

Jenis Cetakan kayu	Jam kerja tiap luas cetakan 10 m <sup>2</sup>			
	Menyetel	Memasang	Membuka & Membersihkan	Reparasi
Pondai/pangkal jembatan	3 - 7	2 - 4	2 - 4	2 sampai 5 jam untuk segala jenis pekerjaan
Dinding	5 - 9	3 - 5	2 - 5	
Lantai	3 - 8	2 - 4	2 - 4	
Atap	3 - 9	2 - 5	2 - 4	
Tiang	4 - 8	2 - 4	2 - 4	
Kepala-kepala tiang	5 - 11	3 - 7	2 - 5	
Balok-balok	6 - 10	3 - 4	2 - 5	
Tangga	6 - 12	4 - 8	3 - 5	
Sudut-sudut tiang dan balok berukir	5 - 11	3 - 9	3 - 5	
Ambang jendela dan lintel*	5 - 10	3 - 6	3 - 5	

Sumber : *Analisa (cara modern) Anggaran Biaya Pelaksanaan*'' oleh Ir. A Soedrajat. S) halaman 86

Perhitungan volume area bekisting memakai satuan m<sup>2</sup>. Dari hasil tersebut ditentukan jumlah kayu untuk cetakan beton, paku, baut, dan kawat memakai tabel 4.28.

- ✓ Volume = 4003,2 m<sup>2</sup>
- ✓ Kapasitas produksi berdasarkan tabel 4.31 :

$$\begin{aligned} \text{Menyetel} &= \frac{4 \text{ jam}}{10 \text{ m}^2} \\ \text{Memasang bekisting} &= \frac{2,5 \text{ jam}}{10 \text{ m}^2} \end{aligned}$$

$$\text{Membuka bekisting} = \frac{2 \text{ jam}}{10 \text{ m}^2}$$

Durasi pekerjaan adalah total volume dibagi kapasitas perhari, jumlah tenaga kerja dalam 1 grup terdiri dari 0,08 mandor, 0,25 tukang bekisting, 1 buruh lapangan terlatih.

$$\begin{aligned}\text{Durasi menyetel bekisting} &= \frac{\frac{4003,2}{10} m^2 \times 4 \text{ jam}}{8 \text{ jam/hari} \times 1 \text{ grup}} \\ &= 200,2 \text{ hari}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Durasi memasang bekisting} &= \frac{\frac{4003,2}{10} m^2 \times 2,5 \text{ jam}}{8 \text{ jam/hari} \times 1 \text{ grup}} \\ &= 125,1 \text{ hari}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Durasi membuka bekisting} &= \frac{\frac{4003,2}{10} m^2 \times 2 \text{ jam}}{8 \text{ jam/hari} \times 1 \text{ grup}} \\ &= 100,1 \text{ hari}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Total durasi bekisting} &= (200,2 + 125,1) \text{ hari} \\ &= 325,3 \text{ hari}\end{aligned}$$

Untuk durasi pemasangan bekisting dalam 1 grup memerlukan waktu 325,3 hari/1grup/1 zona.

Untuk pembongkaran bekisting dalam 1 grup memerlukan waktu 100,1 hari/1grup/1 zona.

#### 4.10.1.3. Pekerjaan Pengecoran

Berikut analisa pekerjaan pengecoran kolom berdasarkan buku Ir. Soedradjat:

✓ Volume =  $480384 \text{ m}^3$

✓ Perhitungan durasi :

Durasi pekerjaan adalah total volume dibagi kapasitas perhari, jumlah tenaga kerja dalam 1 grup terdiri dari 0,1 mandor, 1 tukang beton, 2 buruh lapangan terlatih.

$$\text{Kapasitas produksi bucket} = 13,60 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$\text{Durasi} = \frac{480384 \text{ m}^3}{13,60 \text{ m}^3/\text{hari} \times 1 \text{ grup}} = 35322,4 \text{ hari}$$

$$\approx 35323 \text{ hari/1 grup/zona}$$



#### 4.10.2. Lantai 1

##### 4.10.2.1. Pekerjaan Pembesian

- ✓ Volume = 91618,85 kg
- ✓ Dimensi Kolom = 40 x 40
  - Jumlah K1 = 182 buah
  - Jumlah K2 = 96 buah
- ✓ Diameter tulangan utama
  - Kolom K1 = 12D22
  - Kolom K2 = 12D22
- ✓ Sengkang
  - Kolom K1 = Ø 10
  - Kolom K2 = Ø 10
- ✓ Panjang per 1 tulangan kolom
  - D22 = 6,48 meter
- ✓ Panjang Tulangan Total
  - D22 = 28643,8 meter
  - Ø10 = 10010,78 meter
- ✓ Jumlah Tulangan
  - D19 = 0 buah
  - D22 = 2387 buah
  - Ø10 = 835 buah
- ✓ Jumlah Kait
  - D19 = 0 buah
  - D22 = 6672 buah
  - Ø10 = 13900 buah
- ✓ Jumlah Bengkokan
  - D19 = 0 buah
  - D22 = 6672 buah
  - Ø10 = 20850 buah
- Kapasitas produksi (Qt)
  - Kaitan D22 =  $\frac{2,3 \text{ jam}}{100 \text{ kaitan}}$
  - Kaitan Ø10 =  $\frac{1,85 \text{ jam}}{100 \text{ kaitan}}$
  - Bengkokan Ø10 =  $\frac{1,15 \text{ jam}}{100 \text{ kaitan}}$

$$\text{Bengkokan D22} = \frac{1,5 \text{ jam}}{100 \text{ kaitan}}$$

$$\text{Batang tulangan} = \frac{7,5 \text{ jam}}{100 \text{ kaitan}}$$

Durasi pekerjaan adalah total volume dibagi kapasitas perhari, jumlah tenaga kerja dalam 1 grup terdiri dari 1 mandor, 1 tukang besi, 1 pembantu tukang.

$$\begin{aligned} \text{Durasi kaitan D22} &= \frac{\frac{6672}{100} \times 2,3 \text{ jam}}{8 \text{ jam/hari} \times 1 \text{ grup}} \\ &= 155,8 \text{ hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Durasi kaitan } \emptyset 10 &= \frac{\frac{13900}{100} \times 1,85 \text{ jam}}{8 \text{ jam/hari} \times 1 \text{ grup}} \\ &= 257,2 \text{ hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total durasi kaitan} &= (155,8 + 257,2) \text{ hari} \\ &= 413 \text{ hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Durasi bengkokan D22} &= \frac{\frac{6672}{100} \times 1,5 \text{ jam}}{8 \text{ jam/hari} \times 1 \text{ grup}} \\ &= 100,1 \text{ hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Durasi bengkokan } \emptyset 10 &= \frac{\frac{20850}{100} \times 1,15 \text{ jam}}{8 \text{ jam/hari} \times 1 \text{ grup}} \\ &= 239,8 \text{ hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total durasi bengkokan} &= (100,1 + 239,8) \text{ hari} \\ &= 339,9 \text{ hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Durasi batang tulangan} &= \frac{\frac{2387}{100} \times 6,5 \text{ jam}}{8 \text{ jam/hari} \times 1 \text{ grup}} \\ &= 155,2 \text{ hari} \end{aligned}$$

Total durasi pekerjaan pembesian

$$\begin{aligned}
 &= 431 \text{ hari} + 339,9 \text{ hari} + 155,2 \text{ hari} \\
 &= 926,1 \text{ hari/ 1 grup/ 1 zona}
 \end{aligned}$$

#### 4.10.2.2. Pekerjaan Bekisting

Perhitungan volume area bekisting memakai satuan  $m^2$ . Dari hasil tersebut ditentukan jumlah kayu untuk cetakan beton, paku, baut, dan kawat memakai tabel 4.28.

- ✓ Volume  $= 3175,9 \text{ m}^2$
- ✓ Kapasitas produksi berdasarkan tabel 4.31 :

$$\begin{aligned}
 \text{Menyetel} &= \frac{4 \text{ jam}}{10 \text{ m}^2} \\
 \text{Memasang bekisting} &= \frac{2,5 \text{ jam}}{10 \text{ m}^2}
 \end{aligned}$$

$$\text{Membuka bekisting} = \frac{2 \text{ jam}}{10 \text{ m}^2}$$

Durasi pekerjaan adalah total volume dibagi kapasitas perhari, jumlah tenaga kerja dalam 1 grup terdiri dari 0,08 mandor, 0,25 tukang bekisting, 1 buruh lapangan terlatih.

$$\begin{aligned}
 \text{Durasi menyetel bekisting} &= \frac{\frac{3175,9}{10} m^2 \times 4 \text{ jam}}{8 \text{ jam/hari} \times 1 \text{ grup}} \\
 &= 158,8 \text{ hari}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Durasi memasang bekisting} &= \frac{\frac{3175,9}{10} m^2 \times 2,5 \text{ jam}}{8 \text{ jam/hari} \times 1 \text{ grup}} \\
 &= 99,3 \text{ hari}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Durasi membuka bekisting} &= \frac{\frac{3175,9}{10} m^2 \times 2 \text{ jam}}{8 \text{ jam/hari} \times 1 \text{ grup}} \\
 &= 79,4 \text{ hari}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Total durasi bekisting} &= (159,8 + 99,3) \text{ hari} \\
 &= 259,1 \text{ hari}
 \end{aligned}$$

Untuk durasi pemasangan bekisting dalam 1 grup memerlukan waktu 259,1 hari/1grup/1 zona.

Untuk pembongkaran bekisting dalam 1 grup memerlukan waktu 79,4 hari/1grup/1 zona.

#### 4.10.2.3. Pekerjaan Pengecoran

Berikut analisa pekerjaan pengecoran kolom berdasarkan buku Ir. Soedradjat:

- ✓ Volume =  $381104,64 \text{ m}^3$
- ✓ Perhitungan durasi :

Durasi pekerjaan adalah total volume dibagi kapasitas perhari, jumlah tenaga kerja dalam 1 grup terdiri dari 0,1 mandor, 1 tukang beton, 2 buruh lapangan terlatih.

$$\text{Kapasitas produksi bucket} = 13,60 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$\text{Durasi} = \frac{381104,64 \text{ m}^3}{13,60 \text{ m}^3/\text{hari} \times 1 \text{ grup}} = 28022,4 \text{ hari}$$

$$\approx 28023 \text{ hari/1 grup/zona}$$

#### 4.10.3. Lantai 2

##### 4.10.3.1. Pekerjaan Pembesian

- ✓ Volume =  $91618,85 \text{ kg}$
- ✓ Dimensi Kolom =  $40 \times 40$ 
  - Jumlah K1 =  $182 \text{ buah}$
  - Jumlah K2 =  $96 \text{ buah}$
- ✓ Diameter tulangan utama
  - Kolom K1 =  $12\text{D}22$
  - Kolom K2 =  $12\text{D}22$
- ✓ Sengkang
  - Kolom K1 =  $\emptyset 10$
  - Kolom K2 =  $\emptyset 10$
- ✓ Panjang per 1 tulangan kolom
  - D22 =  $6,48 \text{ meter}$
- ✓ Panjang Tulangan Total
  - D22 =  $28643,8 \text{ meter}$
  - $\emptyset 10$  =  $10010,78 \text{ meter}$
- ✓ Jumlah Tulangan
  - D19 =  $0 \text{ buah}$
  - D22 =  $2387 \text{ buah}$
  - $\emptyset 10$  =  $835 \text{ buah}$

- ✓ Jumlah Kait
  - D19 = 0 buah
  - D22 = 6672 buah
  - Ø10 = 13900 buah

- ✓ Jumlah Bengkokan
  - D19 = 0 buah
  - D22 = 6672 buah
  - Ø10 = 20850 buah
- Kapasitas produksi (Qt)

$$\text{Kaitan D22} = \frac{2,3 \text{ jam}}{\frac{100 \text{ kaitan}}{1,85 \text{ jam}}}$$

$$\text{Kaitan Ø10} = \frac{1,85 \text{ jam}}{\frac{100 \text{ kaitan}}{1,15 \text{ jam}}}$$

$$\text{Bengkokan Ø10} = \frac{1,15 \text{ jam}}{\frac{100 \text{ kaitan}}{1,5 \text{ jam}}}$$

$$\text{Bengkokan D22} = \frac{1,5 \text{ jam}}{\frac{100 \text{ kaitan}}{7,5 \text{ jam}}}$$

$$\text{Batang tulangan} = \frac{7,5 \text{ jam}}{100 \text{ kaitan}}$$

Durasi pekerjaan adalah total volume dibagi kapasitas perhari, jumlah tenaga kerja dalam 1 grup terdiri dari 1 mandor, 1 tukang besi, 1 pembantu tukang.

$$\begin{aligned} \text{Durasi kaitan D22} &= \frac{\frac{6672}{100} \times 2,3 \text{ jam}}{8 \text{ jam/hari} \times 1 \text{ grup}} \\ &= 155,8 \text{ hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Durasi kaitan Ø10} &= \frac{\frac{13900}{100} \times 1,85 \text{ jam}}{8 \text{ jam/hari} \times 1 \text{ grup}} \\ &= 257,2 \text{ hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total durasi kaitan} &= (155,8 + 257,2) \text{ hari} \\ &= 413 \text{ hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Durasi bengkokan D22} &= \frac{\frac{6672}{100} \times 1,5 \text{ jam}}{8 \text{ jam/hari} \times 1 \text{ grup}} \\ &= 100,1 \text{ hari} \end{aligned}$$

$$\text{Durasi bengkokan } \varnothing 10 = \frac{\frac{20850}{100} \times 1,15 \text{ jam}}{8 \text{ jam/hari} \times 1 \text{ grup}}$$

$$= 239,8 \text{ hari}$$

$$\text{Total durasi bengkokan} = (100,1 + 239,8) \text{ hari}$$

$$= 339,9 \text{ hari}$$

$$\text{Durasi batang tulangan} = \frac{\frac{2387}{100} \times 6,5 \text{ jam}}{8 \text{ jam/hari} \times 1 \text{ grup}}$$

$$= 155,2 \text{ hari}$$

Total durasi pekerjaan pembesian

$$= 431 \text{ hari} + 339,9 \text{ hari} + 155,2 \text{ hari}$$

$$= 926,1 \text{ hari/ 1 grup/ 1 zona}$$

#### 4.10.3.2. Pekerjaan Bekisting

Perhitungan volume area bekisting memakai satuan m<sup>2</sup>.

Dari hasil tersebut ditentukan jumlah kayu untuk cetakan beton, paku, baut, dan kawat memakai tabel **4.28**.

✓ Volume = 3175,9 m<sup>2</sup>

✓ Kapasitas produksi berdasarkan tabel 4.31 :

$$\text{Menyetel} = \frac{4 \text{ jam}}{10 \text{ m}^2}$$

$$\text{Memasang bekisting} = \frac{2,5 \text{ jam}}{10 \text{ m}^2}$$

$$\text{Membuka bekisting} = \frac{2 \text{ jam}}{10 \text{ m}^2}$$

Durasi pekerjaan adalah total volume dibagi kapasitas perhari, jumlah tenaga kerja dalam 1 grup terdiri dari 0,08 mandor, 0,25 tukang bekisting, 1 buruh lapangan terlatih.

$$\begin{aligned} \text{Durasi menyetel bekisting} &= \frac{\frac{3175,9}{10} \text{ m}^2 \times 4 \text{ jam}}{8 \text{ jam/hari} \times 1 \text{ grup}} \\ &= 158,8 \text{ hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Durasi memasang bekisting} &= \frac{\frac{3175,9}{10} m^2 \times 2,5 \text{ jam}}{8 \text{ jam/hari} \times 1 \text{ grup}} \\
 &= 99,3 \text{ hari} \\
 \text{Durasi membuka bekisting} &= \frac{\frac{3175,9}{10} m^2 \times 2 \text{ jam}}{8 \text{ jam/hari} \times 1 \text{ grup}} \\
 &= 79,4 \text{ hari} \\
 \text{Total durasi bekisting} &= (159,8 + 99,3) \text{ hari} \\
 &= 259,1 \text{ hari}
 \end{aligned}$$

Untuk durasi pemasangan bekisting dalam 1 grup memerlukan waktu 259,1 hari/1grup/1 zona.

Untuk pembongkaran bekisting dalam 1 grup memerlukan waktu 79,4 hari/1grup/1 zona.

#### 4.10.3.3. Pekerjaan Pengecoran

Berikut analisa pekerjaan pengecoran kolom berdasarkan buku Ir. Soedradjat:

✓ Volume =  $381104,64 \text{ m}^3$

✓ Perhitungan durasi :

Durasi pekerjaan adalah total volume dibagi kapasitas perhari, jumlah tenaga kerja dalam 1 grup terdiri dari 0,1 mandor, 1 tukang beton, 2 buruh lapangan terlatih.

$$\text{Kapasitas produksi bucket} = 13,60 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$\text{Durasi} = \frac{381104,64 \text{ m}^3}{13,60 \text{ m}^3/\text{hari} \times 1 \text{ grup}} = 28022,4 \text{ hari}$$

$$\approx 28023 \text{ hari/1 grup/zona}$$

#### 4.10.4. Lantai 3

##### 4.10.4.1. Pekerjaan Pembesian

✓ Volume =  $91618,85 \text{ kg}$

✓ Dimensi Kolom =  $40 \times 40$

Jumlah K1 =  $182 \text{ buah}$

Jumlah K2 =  $96 \text{ buah}$

✓ Diameter tulangan utama

Kolom K1 =  $12D22$

- Kolom K2 = 12D22
- ✓ Sengkan  
Kolom K1 = Ø 10  
Kolom K2 = Ø 10
- ✓ Panjang per 1 tulangan kolom  
D22 = 6,48 meter
- ✓ Panjang Tulangan Total  
D22 = 28643,8 meter  
Ø10 = 10010,78 meter
- ✓ Jumlah Tulangan  
D19 = 0 buah  
D22 = 2387 buah  
Ø10 = 835 buah
- ✓ Jumlah Kait  
D19 = 0 buah  
D22 = 6672 buah  
Ø10 = 13900 buah
- ✓ Jumlah Bengkokan  
D19 = 0 buah  
D22 = 6672 buah  
Ø10 = 20850 buah

Kapasitas produksi (Qt)

$$\text{Kaitan D22} = \frac{2,3 \text{ jam}}{100 \text{ kaitan}}$$

$$\text{Kaitan Ø10} = \frac{1,85 \text{ jam}}{100 \text{ kaitan}}$$

$$\text{Bengkokan Ø10} = \frac{1,15 \text{ jam}}{100 \text{ kaitan}}$$

$$\text{Bengkokan D22} = \frac{1,5 \text{ jam}}{100 \text{ kaitan}}$$

$$\text{Batang tulangan} = \frac{7,5 \text{ jam}}{100 \text{ kaitan}}$$

Durasi pekerjaan adalah total volume dibagi kapasitas perhari, jumlah tenaga kerja dalam 1 grup terdiri dari 1 mandor, 1 tukang besi, 1 pembantu tukang.

$$\text{Durasi kaitan D22} = \frac{\frac{6672}{100} \times 2,3 \text{ jam}}{8 \text{ jam/hari} \times 1 \text{ grup}}$$



$$\begin{aligned}
 &= 155,8 \text{ hari} \\
 \text{Durasi kaitan } \emptyset 10 &= \frac{\frac{13900}{100} \times 1,85 \text{ jam}}{8 \text{ jam/hari} \times 1 \text{ grup}} \\
 &= 257,2 \text{ hari} \\
 \text{Total durasi kaitan} &= (155,8 + 257,2) \text{ hari} \\
 &= 431 \text{ hari} \\
 \text{Durasi bengkokan D22} &= \frac{\frac{6672}{100} \times 1,5 \text{ jam}}{8 \text{ jam/hari} \times 1 \text{ grup}} \\
 &= 100,1 \text{ hari} \\
 \text{Durasi bengkokan } \emptyset 10 &= \frac{\frac{20850}{100} \times 1,15 \text{ jam}}{8 \text{ jam/hari} \times 1 \text{ grup}} \\
 &= 239,8 \text{ hari} \\
 \text{Total durasi bengkokan} &= (100,1 + 239,8) \text{ hari} \\
 &= 339,9 \text{ hari} \\
 \text{Durasi batang tulangan} &= \frac{\frac{2387}{100} \times 6,5 \text{ jam}}{8 \text{ jam/hari} \times 1 \text{ grup}} \\
 &= 155,2 \text{ hari} \\
 \text{Total durasi pekerjaan pembesian} &= 431 \text{ hari} + 339,9 \text{ hari} + 155,2 \text{ hari} \\
 &= 926,1 \text{ hari/ 1 grup/ 1 zona}
 \end{aligned}$$

#### 4.10.4.2. Pekerjaan Bekisting

Perhitungan volume area bekisting memakai satuan m<sup>2</sup>. Dari hasil tersebut ditentukan jumlah kayu untuk cetakan beton, paku, baut, dan kawat memakai tabel 4.28.

- ✓ Volume = 3175,9 m<sup>2</sup>
- ✓ Kapasitas produksi berdasarkan tabel 4.31 :

$$\begin{aligned}\text{Menyetel} &= \frac{4 \text{ jam}}{10 \text{ m}^2} \\ \text{Memasang bekisting} &= \frac{2,5 \text{ jam}}{10 \text{ m}^2}\end{aligned}$$

$$\text{Membuka bekisting} = \frac{2 \text{ jam}}{10 \text{ m}^2}$$

Durasi pekerjaan adalah total volume dibagi kapasitas perhari, jumlah tenaga kerja dalam 1 grup terdiri dari 0,08 mandor, 0,25 tukang bekisting, 1 buruh lapangan terlatih.

$$\begin{aligned}\text{Durasi menyetel bekisting} &= \frac{\frac{3175,9}{10} \text{ m}^2 \times 4 \text{ jam}}{8 \text{ jam/hari} \times 1 \text{ grup}} \\ &= 158,8 \text{ hari}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Durasi memasang bekisting} &= \frac{\frac{3175,9}{10} \text{ m}^2 \times 2,5 \text{ jam}}{8 \text{ jam/hari} \times 1 \text{ grup}} \\ &= 99,3 \text{ hari}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Durasi membuka bekisting} &= \frac{\frac{3175,9}{10} \text{ m}^2 \times 2 \text{ jam}}{8 \text{ jam/hari} \times 1 \text{ grup}} \\ &= 79,4 \text{ hari}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Total durasi bekisting} &= (159,8 + 99,3) \text{ hari} \\ &= 259,1 \text{ hari}\end{aligned}$$

Untuk durasi pemasangan bekisting dalam 1 grup memerlukan waktu 259,1 hari/1grup/1 zona.

Untuk pembongkaran bekisting dalam 1 grup memerlukan waktu 79,4 hari/1grup/1 zona.

#### 4.10.4.3. Pekerjaan Pengecoran

Berikut analisa pekerjaan pengecoran kolom berdasarkan buku Ir. Soedradjat:

✓ Volume = 381104,64 m<sup>3</sup>

✓ Perhitungan durasi :

Durasi pekerjaan adalah total volume dibagi kapasitas perhari, jumlah tenaga kerja dalam 1 grup terdiri dari 0,1 mandor, 1 tukang beton, 2 buruh lapangan terlatih.

$$\text{Kapasitas produksi bucket} = 13,60 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$\text{Durasi} = \frac{381104,64 \text{ m}^3}{13,60 \text{ m}^3/\text{hari} \times 1 \text{ grup}} = 28022,4 \text{ hari}$$

$$\approx 28023 \text{ hari/1 grup/zona}$$

#### 4.10.5. Atap

##### 4.10.5.1. Pekerjaan Pembesian

- ✓ Volume = 27123,072 kg
- ✓ Dimensi Kolom = 40 x 40
  - Jumlah K1 = 0 buah
  - Jumlah K2 = 96 buah
- ✓ Diameter tulangan utama
  - Kolom K2 = 12D22
- ✓ Sengkang
  - Kolom K2 = Ø 10
- ✓ Panjang per 1 tulangan kolom
  - D22 = 5,16 meter
- ✓ Panjang Tulangan Total
  - D22 = 8582.4 meter
  - Ø10 = 2496 meter
- ✓ Jumlah Tulangan
  - D19 = 0 buah
  - D22 = 716 buah
  - Ø10 = 208 buah
- ✓ Jumlah Kait
  - D19 = 0 buah
  - D22 = 2304 buah
  - Ø10 = 3456 buah
- ✓ Jumlah Bengkokan
  - D19 = 0 buah
  - D22 = 2304 buah
  - Ø10 = 5184 buah
- Kapasitas produksi (Qt)
- Kaitan D22 =  $\frac{2,3 \text{ jam}}{100 \text{ kaitan}}$

$$\text{Kaitan } \emptyset 10 = \frac{1,85 \text{ jam}}{100 \text{ kaitan}}$$

$$\text{Bengkokan } \emptyset 10 = \frac{1,15 \text{ jam}}{100 \text{ kaitan}}$$

$$\text{Bengkokan D22} = \frac{1,5 \text{ jam}}{100 \text{ kaitan}}$$

$$\text{Batang tulangan} = \frac{7,5 \text{ jam}}{100 \text{ kaitan}}$$

Durasi pekerjaan adalah total volume dibagi kapasitas perhari, jumlah tenaga kerja dalam 1 grup terdiri dari 1 mandor, 1 tukang besi, 1 pembantu tukang.

$$\begin{aligned} \text{Durasi kaitan D22} &= \frac{\frac{2304}{100} \times 2,3 \text{ jam}}{8 \text{ jam/hari} \times 1 \text{ grup}} \\ &= 6,7 \text{ hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Durasi kaitan } \emptyset 10 &= \frac{\frac{3456}{100} \times 1,85 \text{ jam}}{8 \text{ jam/hari} \times 1 \text{ grup}} \\ &= 8 \text{ hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total durasi kaitan} &= (6,7 + 8) \text{ hari} \\ &= 14,7 \text{ hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Durasi bengkokan D22} &= \frac{\frac{2304}{100} \times 1,5 \text{ jam}}{8 \text{ jam/hari} \times 1 \text{ grup}} \\ &= 4,4 \text{ hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Durasi bengkokan } \emptyset 10 &= \frac{\frac{5184}{100} \times 1,15 \text{ jam}}{8 \text{ jam/hari} \times 1 \text{ grup}} \\ &= 7,5 \text{ hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total durasi bengkokan} &= (4,4 + 7,5) \text{ hari} \\ &= 11,9 \text{ hari} \end{aligned}$$

$$\text{Durasi batang tulangan} = \frac{\frac{716}{100} \times 6,5 \text{ jam}}{8 \text{ jam/hari} \times 1 \text{ grup}}$$

$$= 6 \text{ hari}$$

$$\begin{aligned} \text{Total durasi pekerjaan pembesian} \\ &= 14,7 \text{ hari} + 11,9 \text{ hari} + 6 \text{ hari} \\ &= 32,6 \text{ hari/ 1 grup/ 1 zona} \end{aligned}$$

#### 4.10.5.2. Pekerjaan Bekisting

Perhitungan volume area bekisting memakai satuan  $m^2$ . Dari hasil tersebut ditentukan jumlah kayu untuk cetakan beton, paku, baut, dan kawat memakai tabel 4.28.

- ✓ Volume  $= 1412,3 \text{ m}^2$
- ✓ Kapasitas produksi berdasarkan tabel 4.31 :

$$\begin{aligned} \text{Menyetel} &= \frac{4 \text{ jam}}{10 \text{ m}^2} \\ \text{Memasang bekisting} &= \frac{2,5 \text{ jam}}{10 \text{ m}^2} \end{aligned}$$

$$\text{Membuka bekisting} = \frac{2 \text{ jam}}{10 \text{ m}^2}$$

Durasi pekerjaan adalah total volume dibagi kapasitas perhari, jumlah tenaga kerja dalam 1 grup terdiri dari 0,08 mandor, 0,25 tukang bekisting, 1 buruh lapangan terlatih.

$$\begin{aligned} \text{Durasi menyetel bekisting} &= \frac{\frac{1412,3}{10} m^2 \times 4 \text{ jam}}{8 \text{ jam/hari} \times 1 \text{ grup}} \\ &= 70,7 \text{ hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Durasi memasang bekisting} &= \frac{\frac{1412,3}{10} m^2 \times 2,5 \text{ jam}}{8 \text{ jam/hari} \times 1 \text{ grup}} \\ &= 44,2 \text{ hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Durasi membuka bekisting} &= \frac{\frac{1412,3}{10} m^2 \times 2 \text{ jam}}{8 \text{ jam/hari} \times 1 \text{ grup}} \\ &= 35,4 \text{ hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total durasi bekisting} &= (70,7 + 44,2) \text{ hari} \\ &= 114,9 \text{ hari} \end{aligned}$$

Untuk durasi pemasangan bekisting dalam 1 grup memerlukan waktu 114,9 hari/1grup/1 zona.

Untuk pembongkaran bekisting dalam 1 grup memerlukan waktu 35,4 hari/1grup/1 zona.

#### 4.10.5.3. Pekerjaan Pengecoran

Berikut analisa pekerjaan pengecoran kolom berdasarkan buku Ir. Soedradjat:

✓ Volume =  $169478,4 \text{ m}^3$

✓ Perhitungan durasi :

Durasi pekerjaan adalah total volume dibagi kapasitas perhari, jumlah tenaga kerja dalam 1 grup terdiri dari 0,1 mandor, 1 tukang beton, 2 buruh lapangan terlatih.

Kapasitas produksi bucket =  $13,60 \text{ m}^3/\text{hari}$

$$\text{Durasi} = \frac{169478,4 \text{ m}^3}{13,60 \text{ m}^3/\text{hari} \times 1 \text{ grup}} = 12416,7 \text{ hari}$$

$$\approx 12417 \text{ hari/1 grup/zona}$$

#### 4.10.6. Di bawah sloof

##### 4.10.6.1. Pekerjaan Pembesian

✓ Volume = 40749,41 kg

✓ Dimensi Kolom = 40 x 40

Jumlah K1 = 182 buah

Jumlah K2 = 96 buah

✓ Diameter tulangan utama

Kolom K1 = 8D19

Kolom K2 = 12D22

✓ Sengkang

Kolom K1 =  $\emptyset 10$

Kolom K2 =  $\emptyset 10$

✓ Panjang per 1 tulangan kolom

D22 = 4,13 meter

D19 = 2,18 meter

✓ Panjang Tulangan Total

D22 = 7401,6 meter

D19 = 7371 meter

- Ø10 = 18410,2 mm
- ✓ Jumlah Tulangan
  - D19 = 615 buah
  - D22 = 617 buah
  - Ø10 = 1535 buah
- ✓ Jumlah Kait
  - D19 = 2912 buah
  - D22 = 2304 buah
  - Ø10 = 5024 buah
- ✓ Jumlah Bengkokan
  - D19 = 2912 buah
  - D22 = 2304 buah
  - Ø10 = 7536 buah

**Tabel 4.29.** Jam kerja buruh yang dibutuhkan untuk memasang 100 buah batang tulangan

Ukuran Besi beton	Dengan Tangan		Dengan Mesin	
	Bengkokan (jam)	Kait (jam)	Bengkokan (jam)	Kait (jam)
½" (12mm)	2 - 4	3 - 6	0.8 - 1.5	1.2 - 2.5
5/8 " (16mm)				
¾ " (19 mm)				
7/8" (22mm)				
1" (25mm)	3 - 6	5 - 10	1.2 - 2.5	2 - 4
1 1/8" (28.5mm)				
1 ¼" (31.75mm)	4 - 7	6 - 12	1.5 - 3	2.5 - 5
1 ½" (38.1mm)				

Sumber : *Analisa (cara modern) Anggaran Biaya Pelaksanaan* oleh Ir. A Soedrajat. S) halaman 92

**Tabel 4.30.** Jam kerja buruh yang dibutuhkan untuk memasang 100 buah batang tulangan

Ukuran besi beton	Panjang batang tulangan (m)		
	Dibawah 3 m	3 – 6 m	6 – 9 m
½” (12mm)	3.5 - 6	5 – 7	6 – 8
5/8 “ (16mm)	4.5 - 7	6 – 8.5	7 – 9.5
¾ “ (19 mm)			
7/8” (22mm)			
1” (25mm)	5.5 – 8	7 – 10	8.5 – 11.5
1 1/8” (28.5mm)			
1 ¼” (31.75mm)	6.5 – 9	8 – 12	10 - 14
1 ½” (38.1mm)			

Sumber : *Analisa (cara modern) Anggaran Biaya Pelaksanaan*” oleh Ir. A Soedrajat. S) halaman 92

Kapasitas produksi (Qt)

$$\begin{aligned}
 \text{Kaitan D19,D22} &= \frac{2,3 \text{ jam}}{100 \text{ kaitan}} \\
 \text{Kaitan } \emptyset 10 &= \frac{1,85 \text{ jam}}{100 \text{ kaitan}} \\
 \text{Bengkokan } \emptyset 10 &= \frac{1,15 \text{ jam}}{100 \text{ kaitan}} \\
 \text{Bengkokan D19,D22} &= \frac{1,5 \text{ jam}}{100 \text{ kaitan}} \\
 \text{Batang tulangan} &= \frac{7,5 \text{ jam}}{100 \text{ kaitan}}
 \end{aligned}$$

Durasi pekerjaan adalah total volume dibagi kapasitas perhari, jumlah tenaga kerja dalam 1 grup terdiri dari 1 mandor, 1 tukang besi, 1 pembantu tukang.

Kapasitas produksi (Qt)

$$\begin{aligned}
 \text{Kaitan D19,D22} &= \frac{2,3 \text{ jam}}{100 \text{ kaitan}} \\
 \text{Kaitan } \emptyset 10 &= \frac{1,85 \text{ jam}}{100 \text{ kaitan}} \\
 \text{Bengkokan } \emptyset 10 &= \frac{1,15 \text{ jam}}{100 \text{ kaitan}} \\
 \text{Bengkokan D19,D22} &= \frac{1,5 \text{ jam}}{100 \text{ kaitan}} \\
 \text{Batang tulangan} &= \frac{7,5 \text{ jam}}{100 \text{ kaitan}}
 \end{aligned}$$



Durasi pekerjaan adalah total volume dibagi kapasitas perhari, jumlah tenaga kerja dalam 1 grup terdiri dari 1 mandor, 1 tukang besi, 1 pembantu tukang.

$$\begin{aligned}\text{Durasi kaitan D19,D22} &= \frac{\frac{2912+2304}{100} \times 2,3 \text{ jam}}{8 \text{ jam/hari} \times 1 \text{ grup}} \\ &= 15 \text{ hari}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Durasi kaitan } \varnothing 10 &= \frac{\frac{5024}{100} \times 1,85 \text{ jam}}{8 \text{ jam/hari} \times 1 \text{ grup}} \\ &= 11,6 \text{ hari}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Total durasi kaitan} &= (15 + 11,6) \text{ hari} \\ &= 26,6 \text{ hari}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Durasi bengkokan D19,D22} &= \frac{\frac{2912+2304}{100} \times 1,5 \text{ jam}}{8 \text{ jam/hari} \times 1 \text{ grup}} \\ &= 9,78 \text{ hari}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Durasi bengkokan } \varnothing 10 &= \frac{\frac{7536}{100} \times 1,15 \text{ jam}}{8 \text{ jam/hari} \times 1 \text{ grup}} \\ &= 10,83 \text{ hari}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Total durasi bengkokan} &= (9,78 + 10,83) \text{ hari} \\ &= 20,61 \text{ hari}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Durasi batang tulangan} &= \frac{\frac{615+617}{100} \times 6,5 \text{ jam}}{8 \text{ jam/hari} \times 1 \text{ grup}} \\ &= 10,1 \text{ hari}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Total durasi pekerjaan pembesian} &= 26,6 \text{ hari} + 10,83 \text{ hari} + 10,1 \text{ hari} \\ &= 47,53 \text{ hari/ 1 grup/ 1 zona}\end{aligned}$$

#### 4.10.6.2. Pekerjaan Bekisting

Perhitungan volume area bekisting memakai satuan  $m^2$ . Dari hasil tersebut ditentukan jumlah kayu untuk cetakan beton, paku, baut, dan kawat memakai tabel 4.28.

- ✓ Volume =  $1012,5 m^2$
- ✓ Kapasitas produksi berdasarkan tabel 4.31 :

$$\begin{aligned} \text{Menyetel} &= \frac{4 \text{ jam}}{10 m^2} \\ \text{Memasang bekisting} &= \frac{2,5 \text{ jam}}{10 m^2} \end{aligned}$$

$$\text{Membuka bekisting} = \frac{2 \text{ jam}}{10 m^2}$$

Durasi pekerjaan adalah total volume dibagi kapasitas perhari, jumlah tenaga kerja dalam 1 grup terdiri dari 0,08 mandor, 0,25 tukang bekisting, 1 buruh lapangan terlatih.

$$\begin{aligned} \text{Durasi menyetel bekisting} &= \frac{\frac{1012,5}{10} m^2 \times 4 \text{ jam}}{8 \text{ jam/hari} \times 1 \text{ grup}} \\ &= 50,6 \text{ hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Durasi memasang bekisting} &= \frac{\frac{1012,5}{10} m^2 \times 2,5 \text{ jam}}{8 \text{ jam/hari} \times 1 \text{ grup}} \\ &= 31,6 \text{ hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Durasi membuka bekisting} &= \frac{\frac{1012,5}{10} m^2 \times 2 \text{ jam}}{8 \text{ jam/hari} \times 1 \text{ grup}} \\ &= 25,3 \text{ hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total durasi bekisting} &= (31,6 + 25,3) \text{ hari} \\ &= 56,9 \text{ hari} \end{aligned}$$

Untuk durasi pemasangan bekisting dalam 1 grup memerlukan waktu 56,9 hari/1grup/1 zona.

Untuk pembongkaran bekisting dalam 1 grup memerlukan waktu 25,3 hari/1grup/1 zona.

#### 4.10.6.3. Pekerjaan Pengecoran

Berikut analisa pekerjaan pengecoran kolom berdasarkan buku Ir. Soedradjat:

- ✓ Volume = 121497,6 m<sup>3</sup>
- ✓ Perhitungan durasi :  
 Durasi pekerjaan adalah total volume dibagi kapasitas perhari, jumlah tenaga kerja dalam 1 grup terdiri dari 0,1 mandor, 1 tukang beton, 2 buruh lapangan terlatih.  
 Kapasitas produksi bucket = 13,60 m<sup>3</sup>/hari

$$\text{Durasi} = \frac{121497,6 \text{ m}^3}{13,60 \text{ m}^3/\text{hari} \times 1 \text{ grup}} = 12416,7 \text{ hari}$$

$$\approx 12417 \text{ hari/1 grup/zona}$$

#### 4.10.7. Rekapitulasi Durasi Pelaksanaan Pekerjaan Kolom

Rekapitulasi durasi pelaksanaan pekerjaan kolom apabila dikerjakan tanpa pembagian zona dan dikerjakan dengan menggunakan 1 grup pekerja adalah sebagai berikut :

**Tabel 4.32.** Rekapitulasi Durasi Pelaksanaan Pekerjaan Kolom

Nama Pekerjaan	Volume	Satuan	Durasi (hari)
Di bawah Sloof			
Pembesian Kolom	40749,4	kg	47,53
Bekisting Kolom	1012,5	m <sup>2</sup>	56,9
Pengecoran Kolom	121497,6	m <sup>3</sup>	12417
Bongkar Bekisting Kolom	1012,5	m <sup>2</sup>	25,3
Lantai Dasar			
Pembesian Kolom	147479,0	kg	116,03
Bekisting Kolom	3175,9	m <sup>2</sup>	325,3
Pengecoran Kolom	381104,64	m <sup>3</sup>	35323

Bongkar Bekisting Kolom	3175,9	m <sup>2</sup>	100,1
Lantai 1			
Pembesian Kolom	147479,0	kg	926,1
Bekisting Kolom	3175,9	m <sup>2</sup>	259,1
Pengecoran Kolom	381104,64	m <sup>3</sup>	28023
Bongkar Bekisting Kolom	3175,9	m <sup>2</sup>	79,4
Lantai 2			
Pembesian Kolom	147479,0	kg	926,1
Bekisting Kolom	3175,9	m <sup>2</sup>	259,1
Pengecoran Kolom	381104,64	m <sup>3</sup>	28023
Bongkar Bekisting Kolom	3175,9	m <sup>2</sup>	79,4
Lantai 3			
Pembesian Kolom	147479,0	kg	926,1
Bekisting Kolom	3175,9	m <sup>2</sup>	259,1
Pengecoran Kolom	381104,64	m <sup>3</sup>	28023
Bongkar Bekisting Kolom	3175,9	m <sup>2</sup>	79,4
Atap			
Pembesian Kolom	257303,0	kg	32,6

Bekisting Kolom	1412,3	m <sup>2</sup>	114,9
Pengecoran Kolom	169478,4	m <sup>3</sup>	12417
Bongkar Bekisting Kolom	1412,3	m <sup>2</sup>	35,4

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1. Kesimpulan

Berdasarkan keseluruhan hasil analisis yang telah dilakukan dalam penyusunan tugas akhir ini dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Perencanaan struktur bangunan ruko 4 lantai dengan atap baja di daerah dengan kelas situs SD (Tanah sedang) dapat dirancang dengan metode sistem rangka pemikul momen menengah (SRPMM) dengan nilai  $R = 5$ , dengan metode perhitungan gempa statik ekuivalen.
2. Dari keseluruhan pembahasan yang telah diuraikan merupakan hasil dari perhitungan Ruko 4 lantai di Surabaya dengan metode SRPMM. Dari perhitungan tersebut diperoleh hasil sebagai berikut :
  - Komponen pelat lantai

**Tabel 5.1.** Penulangan Utama Pelat Lantai

Type	$L_y$ (m)	$L_x$ (m)	$L_y/L_x$	Arah	KESIMPULAN			
					Lap.X	Lap.Y	Tump.X	Tump.Y
1	5,00	3,69	1,355	Dua	Ø10-100	Ø10-200	Ø10-50	Ø10-65
2	6,70	1,50	4,467	Satu	Ø12-50	-	Ø12-150	-
3	6,70	2,50	2,680	Satu	Ø12-50	-	Ø12-150	-
4	5,00	2,04	2,451	Satu	Ø12-50	-	Ø12-150	-
5	5,00	1,50	3,333	Satu	Ø12-50	-	Ø12-150	-
6	5,00	2,50	2,000	Dua	Ø10-100	Ø10-200	Ø10-50	Ø10-65

- Komponen pelat tangga

**Tabel 5.2.** Penulangan Plat Tangga dan Bordes

NAMA	DIMENSI (m)	TYPE	ARAH	TULANGAN
Plat Bordes 1	1 x 1	Two Ways	X	Ø 10 - 300
			Y	Ø 10 - 150
Plat Bordes 2	1 x 1	Two Ways	X	Ø 10 - 300
			Y	Ø 10 - 150
Plat Tangga 1	2,19 x 1	One Ways	X (Susut)	Ø 10 - 350
			Y	Ø 12 - 100
Plat Tangga 2	2,43 x 1	One Ways	X (Susut)	Ø 10 - 350
			Y	Ø 12 - 100
Plat Tangga 3	3,34 x 1	One Ways	X (Susut)	Ø 10 - 350
			Y	Ø 12 - 100

- Komponen balok

**Tabel 5.3. Penulangan Balok**

Type Balok	Dimensi	Panjang (meter)	Tulangan Tarik			Tulangan Tekan			Tulangan Torsi	Tulangan Geser	
			Tump. Kanan	Tump. Kiri	Lap.	Tump. Kanan	Tump. Kiri	Lap.		Tumpuan	Lapangan
B1	30 x 50	6,70	4D19	4D19	5D19	2D19	2D19	2D19	4D13	Ø10-150	Ø10-200
		5,00	4D19	4D19	5D19	2D19	2D19	2D19	4D13	Ø10-150	Ø10-200
		1,50	4D19	4D19	5D19	2D19	2D19	2D19	4D13	Ø10-150	Ø10-200
B2	20 x 35	5,00	4D19	4D19	4D19	2D19	2D19	2D19	6D16	Ø10-180	Ø10-300
		1,50	4D19	4D19	4D19	2D19	2D19	2D19	6D16	Ø10-180	Ø10-300
B3	20 x 35	6,70	4D19	4D19	4D19	2D19	2D19	2D19	6D16	Ø10-180	Ø10-300
B4	20 x 35	5,00	3D16	3D16	2D16	2D16	2D16	2D16	-	Ø12-100	Ø12-130
B5	40 x 70	1,81	3D22	3D22	5D22	2D22	2D22	2D22	-	Ø10-50	Ø10-130
		2,09	3D22	3D22	5D22	2D22	2D22	2D22	-	Ø10-50	Ø10-130
BB	20 x 35	1,00	2D19	2D19	2D19	2D13	2D13	2D13	2D13	Ø10-100	Ø10-130
S1	30 x 50	6,70	3D19	3D19	3D19	3D19	3D19	3D19	-	Ø10-200	Ø10-200
		5,00	3D19	3D19	3D19	3D19	3D19	3D19	-	Ø10-200	Ø10-200
		1,50	3D19	3D19	3D19	3D19	3D19	3D19	-	Ø10-200	Ø10-200



**Tabel 5.4. Panjang Penyaluran Balok**

Type Balok	Dimensi	Panjang (meter)	Panjang Penyaluran Tulangan Tarik (mm)			Panjang Kait (mm)		Bengkokan (mm)	
			Tump. Kanan	Tump. Kiri	Lap.	Tarik	Tekan	Tarik	Tekan
B1	25 x 45	6,70	800	800	750	300	150	228	152
		5,00							
		1,50							
B2	20 x 35	5,00	820	500	840	330	200	228	152
		1,50							
B3	20 x 35	6,70	820	500	840	330	200	228	152
B4	15 x 25	5,00	420	670	210	260	200	192	128
B5	40 x 70	1,81	1120	1120	880	310	300	264	176
		2,09							
BB	20 x 35	1,00	500	500	500	200	150	228	104
S1	25 x 45	6,70	800	800	300	350	152	228	150
		5,00							
		1,50							

- Komponen Kolom

**Tabel 5.5. Penulangan Kolom**

Type Kolom	Dimensi	Tinggi (meter)	Tulangan Lentur	Tulangan Geser	Sambungan Lewatan Kolom (mm)	Panjang Penyaluran (mm)	Bengkokan= 12db (mm)
K1	40 x 40	4,50	8D19	Ø10 - 150	600	780	228
K2	40 x 40	3,57	12D22	Ø10 - 150	650	1040	264

- Sambungan pada atap rangka baja

**Tabel 5.6. Sambungan pada Atap Rangka Baja**

No	Jenis Sambungan	Jumlah Baut	Jarak Antarbaut (mm)	Jarak Baut dari Tepi Profil (mm)	Panjang Las Sudut (mm)	Tebal Las Sudut (mm)
1	Sambungan Kuda dengan Kolom	6Ø16 mm	100	50	612	5,6
2	Sambungan Kuda-Kuda	5Ø16 mm	100	50	612	5,6

3. Metode pelaksanaan pekerjaan kolom terdiri dari beberapa pekerjaan. Secara berurutan yaitu pembesian, pemasangan bekisting, pengecoran, perawatan, dan pelepasan bekisting. Untuk pekerjaan pemasangan tulangan dibagi menjadi 3 pekerjaan, yaitu pekerjaan kait, pekerjaan bengkokan, dan pekerjaan tulangan utama. Perakitan tulangan dilakukan di luar proyek sehingga tulangan yang sudah dirakit tinggal dipasang di titik-titik kolom menggunakan *mobile crane*. Setelah tulangan terpasang, kemudian menentukan batas sepatu kolom atau *decking* beton atau selimut beton. Kemudian dilakukan pemasangan bekisting.
4. Dalam tahap pengecoran menggunakan beton *ready mix* K-300. Sebelum dilakukan pengecoran, *quality control* melakukan pengujian slump pada beton sesuai dengan ketentuan proyek. Kemudian apabila kebutuhan beton untuk pengecoran melebihi  $10 \text{ m}^3$ , maka diambil benda uji silinder untuk dilakukan tes uji tekan beton. Setelah dilakukan tes tekan beton dan slump dan keduanya memenuhi, maka dapat dilakukan pengecoran yang tetap diawasi oleh *quality control*.
5. Setelah pekerjaan pengecoran, beton melalui proses perawatan yang sesuai dengan ketentuan proyek sebelum dilepas bekistingnya dalam waktu 8 jam.

## 5.2. Saran

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan, maka didapatkan beberapa saran sebagai berikut :

1. Mempertahankan apa yang telah dikerjakan, selama perencanaan maupun perhitungan yang telah dilakukan tidak keluar dari koridor peraturan.
2. Tidak takut untuk mempelajari hal-hal yang baru yang berkaitan dengan standart yang baru sekalipun hal tersebut belum pernah disampaikan di dalam kurikulum perkuliahan.

## DAFTAR PUSTAKA

Badan Standarisasi Nasional. 2012. *Tata Cara Perencanaan Ketahanan Gempa untuk Struktur Bangunan Gedung dan Non Gedung (SNI 1726 – 2012)*. Jakarta.

Badan Standarisasi Nasional. 2013. *Beban Minimum untuk Perancangan Bangunan Gedung dan Struktur Lain (SNI 1727 – 2013)*. Jakarta.

Badan Standarisasi Nasional. 2013. *Persyaratan Beton Struktural untuk Bangunan Gedung (SNI 2847 – 2013)*. Jakarta.

Badan Standarisasi Nasional. 2015. *Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural (SNI 1729 – 2015)*. Jakarta.

Husin, Nur Ahmad, ST. 2009. *Struktur Beton*. Surabaya.

Pamungkas, A. 2013. *Desain Pondasi Tahan Gempa*. Surabaya.

Romadhon, Rahmadi. (2014, 23 Februari). Pelaksanaan Pekerjaan Kolom, Balok, Plat Lantai, dan Tangga. Diperoleh 4 Februari 2017, dari <http://rromadhonunj.blogspot.co.id/-2014/02/pelaksanaan-pekerjaan-kolom-balok-plat>

Setiawan, Agus. 2013. *Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD Edisi Kedua*. Jakarta. Erlangga.

Wang, Chi-Kia dan Charles G.Salmon. *Desain Beton Bertulang Jilid 1 dan 2 Edisi Keempat*






Penulis lahir pada tanggal 2 Desember 1995 dan merupakan anak pertama dari tiga bersaudara. Penulis bernama lengkap Nailus Sa'adah ini merupakan lulusan dari MI Ma'araif NU Sunan Drajat Lamongan, juga pernah bersekolah di SMP Negeri 1 Lamongan, dan SMA Negeri 2 Lamongan. Selain itu penulis juga aktif di kegiatan kemahasiswaan selama tiga tahun. Sempat menduduki posisi atau jabatan sebagai staff departemen SOR HMDS periode 2015/2016. Selain mengisi waktu dengan

kegiatan akademik dan organisasi, di waktu senggangnya penulis sering menghabiskan waktu untuk membaca buku dan menonton drama.

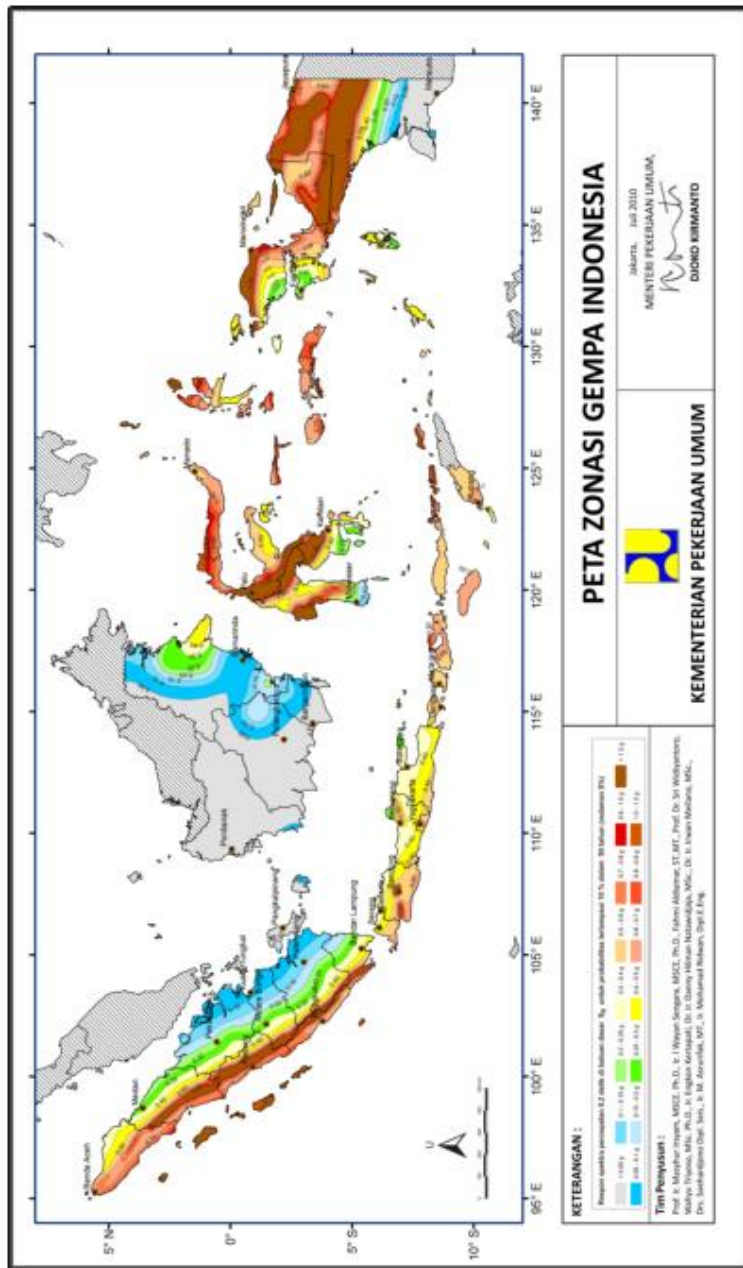
PROJECT : Hotel Design		DEPTH : - 30 m		GROUND WATER LEVEL : ± -7.20 m															
LOCATION : Jln. Dr. Cipto No. 11, Malang.				GROUND SURFACE LEVEL : ± 0.00 m															
DEPTH, m.	SOIL DESCRIPTION	STANDARD PENETRATION TEST				STRENGTH TEST				ATTERBERG LIMITS				γ	Gs	eo			
		0	10	20	30	40	TYPE	C	φ	qu	0	20	40				60	80	100
0																			
1	Fill, sand and gravel, brown, contains cobble, very dense.																		
2																			
3	Silt and clay, dark brown, inorganic, trace to little sand, medium.																		
4							UU	0.22	20	-			33	53	56		1.63	2.62	1.46
5																			
6							QT	0.22	24	-			35	50	54		1.64	2.57	1.35
7																			
8							QT	0.25	27	-			32	49	51		1.66	2.60	1.33
9	Silt and sand, brown, little clay, loose to very dense.																		
10																			
11																			
12																			
13																			
14																			
15	Silt, dark grey, some sand, stiff.																		
16	Silt and sand, brown, some clay.																		
17																			
18	Silt and clay, brownish grey, inorganic, little sand, hard.																		
19																			
20																			
21																			
22	Silt and sand, brown, some clay, medium to very dense.																		
23																			
24																			
25																			
26	Silt and sand, light brown, little clay, cemented.																		
27																			
28	Sand and silt, grey, cemented at some depth, very dense.																		
29																			
30	Sand and silt, brown, cemented at some depth, very dense.																		
	End of Boring																		

**NOTE :**  
 0 to 10 % = Trace  
 10 to 20 % = Little  
 20 to 35 % = Some  
 35 to 50 % = And

 = Thin Wall  
 = SPT  
 = Cone Sample  
 c = Cohesion intercept, kg/cm<sup>2</sup>  
 φ = Internal friction angle, deg

UU = Unconsolidated undrained  
 CU = Consolidated undrained  
 Vane = Vane shear test  
 SPT = Standard penetration test (blows / ft)  
 qu = Unconfined compression strength, kg/cm<sup>2</sup>

O = W<sub>n</sub> = Moisture content, %  
 ■ = W<sub>p</sub> = Plastic limit, %  
 Δ = W<sub>L</sub> = Liquid limit, %  
 γ = Bulk density, t/m<sup>3</sup>  
 G<sub>s</sub> = Specific gravity  
 eo = Void ratio



Gambar 2. Peta respon spektra peracikan 0.2 detik ( $S_d$ ) di lokasi dasar ( $S_d$ ) untuk probabilitas tercapai 10% dalam 50 tahun

```
0000000 00000 00000 00000 00000 00
00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
00 00 00 00 00 00 00 00 00 00 00
00 00 00 0000000 00 00 00 00
0000000 00 00 00 00 00 00 00 00
00 00 00 00 00 00 00 00 00
00 0000 00 00 0000 0000 0000 (TM)
```

=====

Computer program for the Strength Design of Reinforced Concrete Sections

=====

Licensee stated above acknowledges that Portland Cement Association (PCA) is not and cannot be responsible for either the accuracy or adequacy of the material supplied as input for processing by the pcaColumn(tm) computer program. Furthermore, PCA neither makes any warranty expressed nor implied with respect to the correctness of the output prepared by the pcaColumn(tm) program. Although PCA has endeavored to produce pcaColumn(tm) error free, the program is not and can't be certified infallible. The final and only responsibility for analysis, design and engineering documents is the licensees. Accordingly, PCA disclaims all responsibility in contract, negligence or other tort for any analysis, design or engineering documents prepared in connection with the use of the pcaColumn(tm) program.



General Information:

File Name: D:\KULIAH\SEMESTER 6\BISMILLAH TA\TUGAS AKHIR\Hasil PCACOL\kolom 40x40.col  
Project: kolom 40x40  
Column: k1  
Code: ACI 318-02  
Engineer: ina  
Units: Metric

Run Option: Design  
Run Axis: Biaxial  
Slenderness: Not considered  
Column Type: Structural

Material Properties:

f'c = 30 MPa  
Ec = 25743 MPa  
Ultimate strain = 0.003 mm/mm  
Betal = 0.83245  
fy = 400 MPa  
Es = 200000 MPa

Section:

Rectangular: Width = 400 mm  
Depth = 400 mm  
Gross section area, Ag = 160000 mm<sup>2</sup>  
Ix = 2.13333e+009 mm<sup>4</sup>  
Xo = 0 mm  
Iy = 2.13333e+009 mm<sup>4</sup>  
Yo = 0 mm

Reinforcement:

Rebar Database: ASTM A615

Size	Diam (mm)	Area (mm <sup>2</sup> )	Size	Diam (mm)	Area (mm <sup>2</sup> )	Size	Diam (mm)	Area (mm <sup>2</sup> )
# 3	10	71	# 4	13	129	# 5	16	200
# 6	19	284	# 7	22	387	# 8	25	510
# 9	29	645	# 10	32	819	# 11	36	1006
# 14	43	1452	# 18	57	2581			

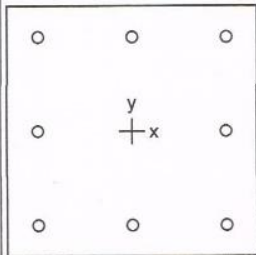
Confinement: Tied; #3 ties with #10 bars, #4 with larger bars.  
phi(a) = 0.8, phi(b) = 0.9, phi(c) = 0.65

Layout: Rectangular  
Pattern: All Sides Equal (Cover to longitudinal reinforcement)  
Total steel area, As = 2271 mm<sup>2</sup> at 1.42%  
8 #6 Cover = 40 mm

Factored Loads and Moments with Corresponding Capacities: (see user's manual for notation)

No.	Pu kN	Mux kN-m	Muy kN-m	fMnx kN-m	fMny kN-m	fMn/Mu
1	1806.3	84.2	23.1	156.6	42.9	1.859

\*\*\* Program completed as requested! \*\*\*



400 x 400 mm

Code: ACI 318-02

Units: Metric

Run axis: Biaxial

Run option: Design

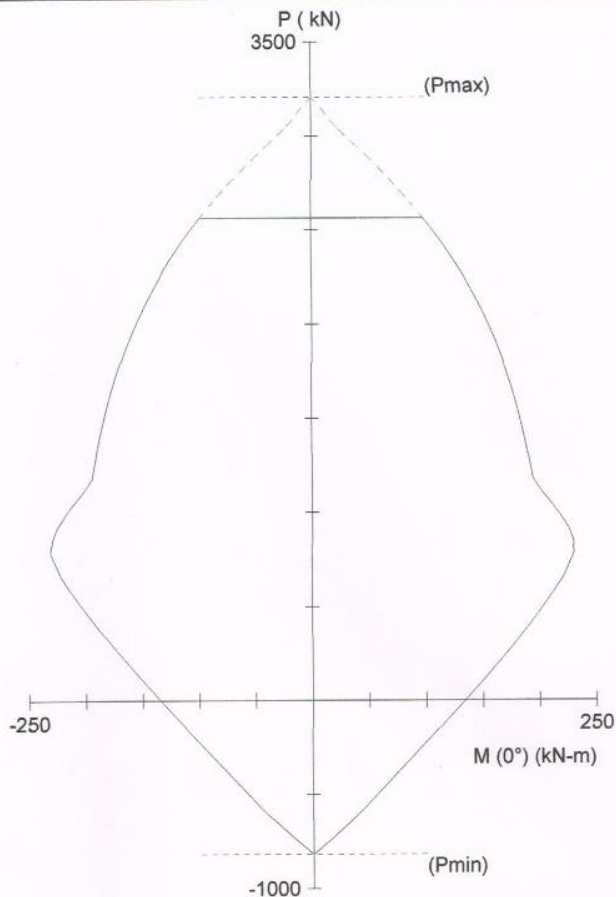
Slenderness: Not considered

Column type: Structural

Bars: ASTM A615

Date: 05/18/17

Time: 10:56:37



pcaColumn v3.63 - Licensed to: computer

File: D:\KULIAH\SEMESTER 6\BISMILLAH TA\TUGAS AKHIR\Hasil PCACOL\kolom 40x40.col

Project: kolom 40x40

Column: k1

$f_c = 30$  MPa

$E_c = 25743$  MPa

$f_c = 25.5$  MPa

$e_u = 0.003$  mm/mm

$\beta_{t1} = 0.83245$

Confinement: Tied

$f_y = 400$  MPa

$E_s = 200000$  MPa

$f_c = 25.5$  MPa

$\phi(a) = 0.8, \phi(b) = 0.9, \phi(c) = 0.65$

Engineer: ina

$A_g = 160000$  mm<sup>2</sup>

$A_s = 2271$  mm<sup>2</sup>

$X_o = 0$  mm

$Y_o = 0$  mm

Clear spacing = 131 mm

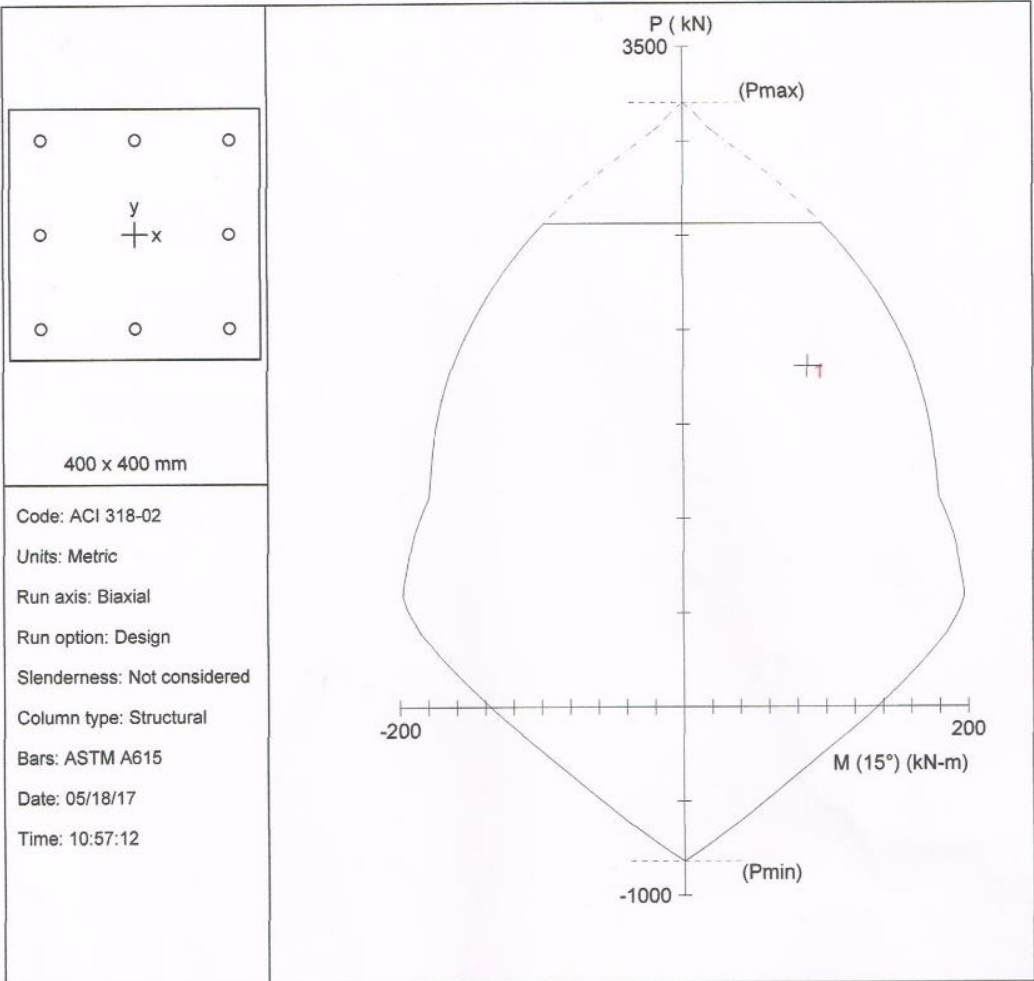
8 #6 bars

$\rho = 1.42\%$

$I_y = 2.13e+009$  mm<sup>4</sup>

$I_y = 2.13e+009$  mm<sup>4</sup>

Clear cover = 40 mm



pcaColumn v3.63 - Licensed to: computer

File: D:\KULIAH\SEMESTER 6\BISMILLAH TA\TUGAS AKHIR\Hasil PCACOL\kolom 40x40.col

Project: kolom 40x40

Column: k1

$f_c = 30$  MPa

$E_c = 25743$  MPa

$f_c = 25.5$  MPa

$e_u = 0.003$  mm/mm

$\text{Beta}1 = 0.83245$

Confinement: Tied

$f_y = 400$  MPa

$E_s = 200000$  MPa

$f_c = 25.5$  MPa

$\phi(a) = 0.8, \phi(b) = 0.9, \phi(c) = 0.65$

Engineer: ina

$A_g = 160000$  mm<sup>2</sup>

$A_s = 2271$  mm<sup>2</sup>

$X_o = 0$  mm

$Y_o = 0$  mm

Clear spacing = 131 mm

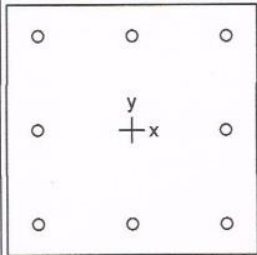
8 #6 bars

$\text{Rho} = 1.42\%$

$I_y = 2.13\text{e}+009$  mm<sup>4</sup>

$I_y = 2.13\text{e}+009$  mm<sup>4</sup>

Clear cover = 40 mm



400 x 400 mm

Code: ACI 318-02

Units: Metric

Run axis: Biaxial

Run option: Design

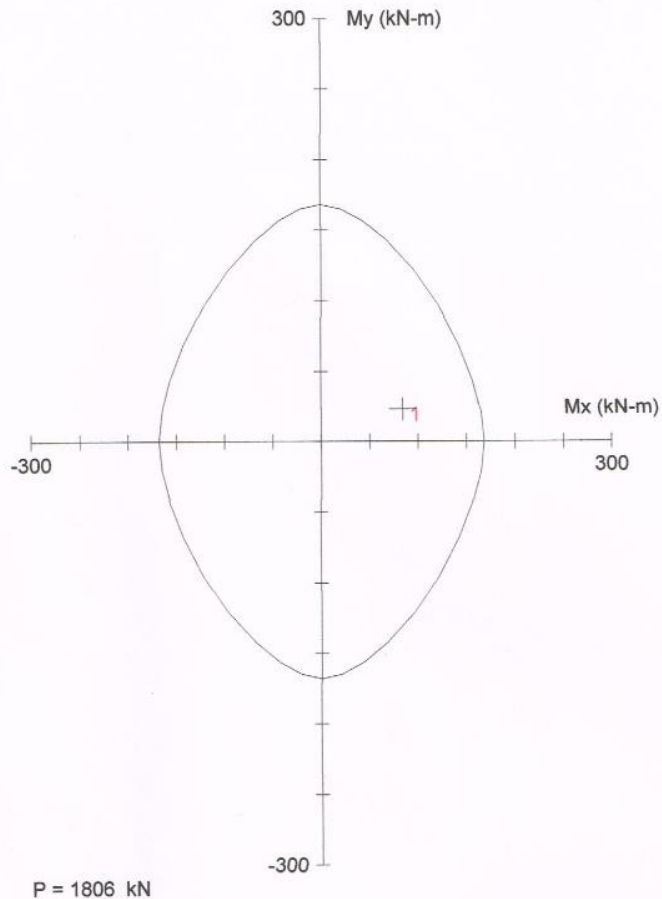
Slenderness: Not considered

Column type: Structural

Bars: ASTM A615

Date: 05/18/17

Time: 10:58:23



pcaColumn v3.63 - Licensed to: computer

File: D:\KULIAH\SEMESTER 6\BISMILLAH TAITUGAS AKHIR\Hasil PCACOL\kolom 40x40.col

Project: kolom 40x40

Column: k1

Engineer: ina

$f_c = 30$  MPa

$f_y = 400$  MPa

$A_g = 160000$  mm<sup>2</sup>

8 #6 bars

$E_c = 25743$  MPa

$E_s = 200000$  MPa

$A_s = 2271$  mm<sup>2</sup>

$\rho = 1.42\%$

$f_c = 25.5$  MPa

$f_c = 25.5$  MPa

$X_o = 0$  mm

$I_y = 2.13e+009$  mm<sup>4</sup>

$e_u = 0.003$  mm/mm

$Y_o = 0$  mm

$I_y = 2.13e+009$  mm<sup>4</sup>

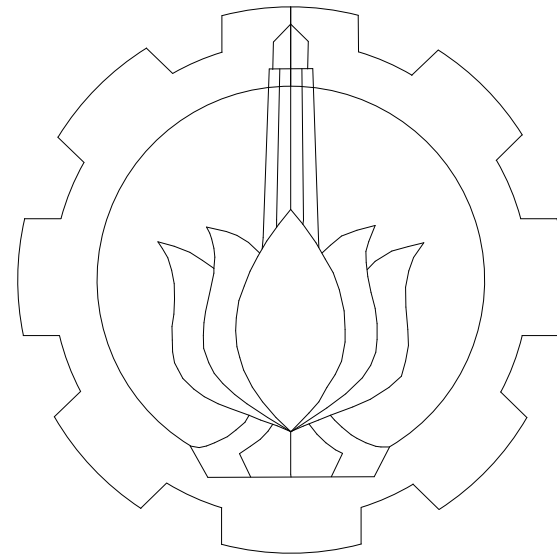
$\beta_1 = 0.83245$

Clear spacing = 131 mm

Clear cover = 40 mm

Confinement: Tied

$\phi(a) = 0.8$ ,  $\phi(b) = 0.9$ ,  $\phi(c) = 0.65$



DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA

GAMBAR ARSITEKTUR DAN STRUKTUR

PERENCANAAN STRUKTUR BANGUNAN RUKO EMPAT LANTAI DI SURABAYA DENGAN  
MENGUNAKAN METODE SISTEM RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH (SRPMM)

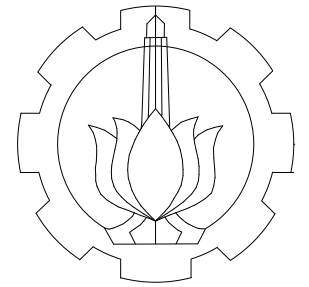
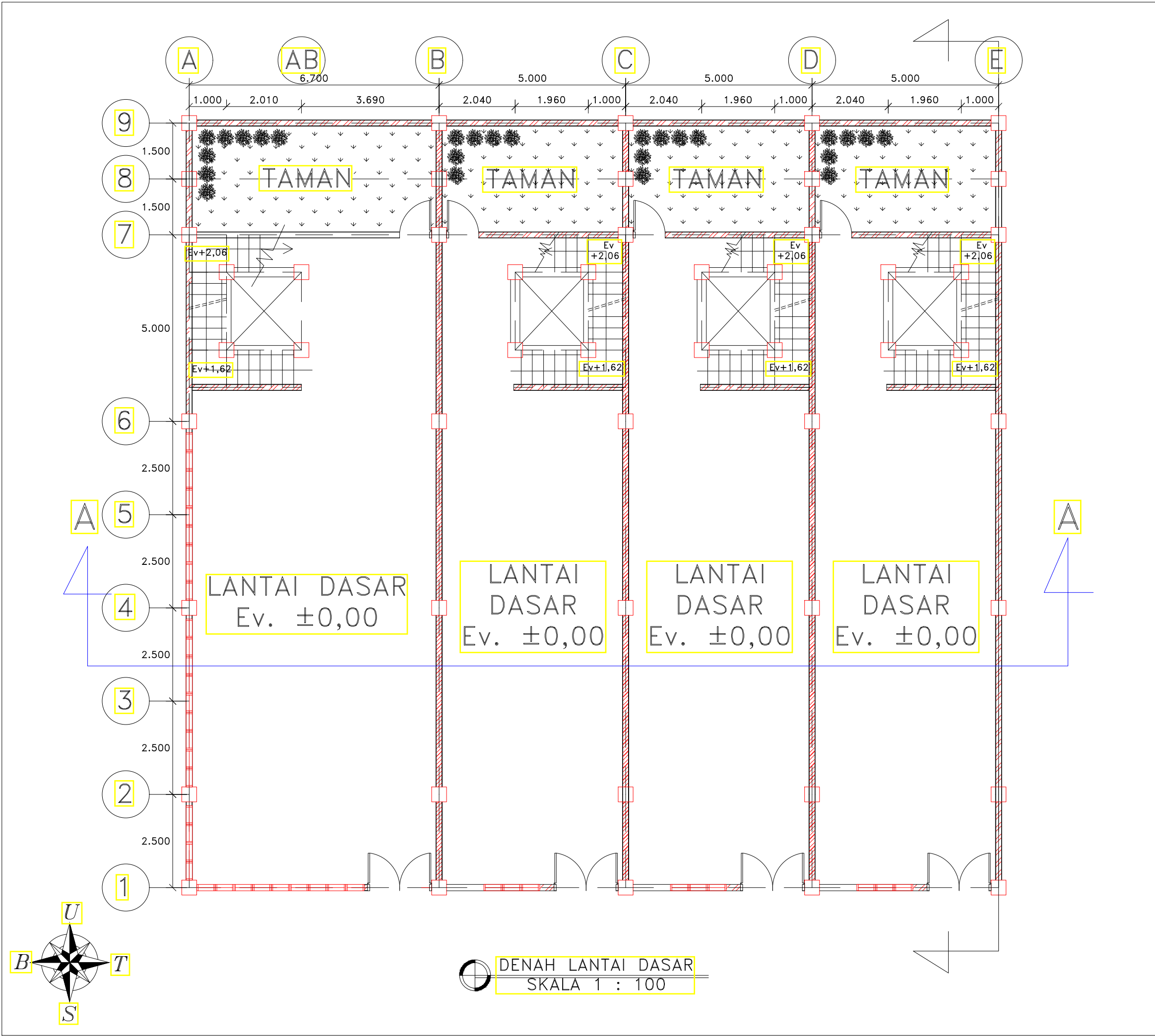
OLEH MAHASISWA:

NAMA : NAILUS SA'ADAH  
NRP : 3114030048

## DAFTAR GAMBAR

NO	JUDUL GAMBAR	HALAMAN
1	DENAH LANTAI DASAR Ev.±0,00 As A-E	1
2	DENAH LANTAI 1 Ev.+4,50 As A-E	2
3	DENAH LANTAI 2 Ev.+8,70 As A-E	3
4	DENAH LANTAI 3 Ev.+11,64 As A-E	4
5	POTONGAN A-A As A-E	5
6	TAMPAK SELATAN	6
7	DENAH ATAP	7
8	DENAH ATAP As A - E	8
9	DENAH KOLOM	9
10	DENAH KOLOM As A - E	10
11	DENAH PLAT LANTAI 1-3	11
12	DENAH PLAT LANTAI 1-3 As 1-3	12
13	DENAH PEMBALOKAN LANTAI 1-3	13
14	DENAH PEMBALOKAN LANTAI 1-3 As A - E	14
15	DENAH SLOOF	15
16	DENAH SLOOF As A - E	16
17	DETAIL PLAT LANTAI 1 - 3	17
18	DETAIL PLAT LANTAI TIPE A	18
19	DETAIL PLAT LANTAI TIPE B DAN F	19
20	DETAIL PLAT LANTAI TIPE G DAN H	20
21	DETAIL PLAT LANTAI TIPE E	21
22	DENAH DAN POTONGAN TANGGA	22

NO	JUDUL GAMBAR	HALAMAN
23	DETAIL TANGGA A	23
24	DETAIL TANGGA B	24
25	DETAIL TANGGA C	25
26	DETAIL SAMBUNGAN I	26
27	DETAIL SAMBUNGAN II	27
28	DETAIL SAMBUNGAN III	28
29	DETAIL GORDING	29
30	DETAIL IKATAN ANGIN	30
31	DETAIL TALANG	31
32	TABEL PENULANGAN BALOK I	32
33	TABEL PENULANGAN BALOK II	33
34	TABEL PENULANGAN BALOK III	34
35	TABEL PENULANGAN KOLOM	35
36	DETAIL PORTAL MEMANJANG	36
37	DETAIL PORTAL MELINTANG (I)	37
38	DETAIL PORTAL MELINTANG (II)	38
39	DETAIL PORTAL BALOK MEMANJANG As A-B	39
40	DETAIL PORTAL BALOK MEMANJANG	40
41	DETAIL PORTAL (HUBUNGAN BALOK-KOLOM)	41
42	DETAIL PORTAL BALOK MELINTANG	42
43	DETAIL PORTAL BALOK MELINTANG	43
44	DETAIL PANJANG PENYALURAN, BENGKOKAN, DAN KAIT PADA BALOK B1	44
45	DETAIL PANJANG PENYALURAN, BENGKOKAN, DAN KAIT PADA BALOK B2	45
46	PORTAL KOLOM	46
47	DETAIL KAIT STANDART, SAMBUNGAN LEWATAN, DAN PANJANG PENYALURAN KOLOM	47



DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN STRUKTUR BANGUNAN  
RUKO EMPAT LANTAI DI SURABAYA  
DENGAN MENGGUNAKAN METODE SISTEM  
RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH  
(SRPMM)

DOSEN PEMBIMBING

Ir. SRIE SUBEKTI, MT.  
NIP.19560520 198903 2 001

NAMA MAHASISWA

1. NAILUS SAADAH (3114030048)

JUDUL GAMBAR

DENAH LANTAI DASAR  
Ev.±0,00  
SKALA 1:100  
AS A – AS E

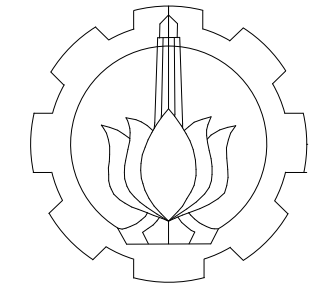
HALAMAN

1

KODE GAMBAR

ARS





DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA

### JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN STRUKTUR BANGUNAN  
RUKO EMPAT LANTAI DI SURABAYA  
DENGAN MENGGUNAKAN METODE SISTEM  
RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH  
(SRPMM)

### DOSEN PEMBIMBING

Ir. SRIE SUBEKTI, MT.  
NIP.19560520 198903 2 001

### NAMA MAHASISWA

1. NAILUS SAADAH (3114030048)

### JUDUL GAMBAR

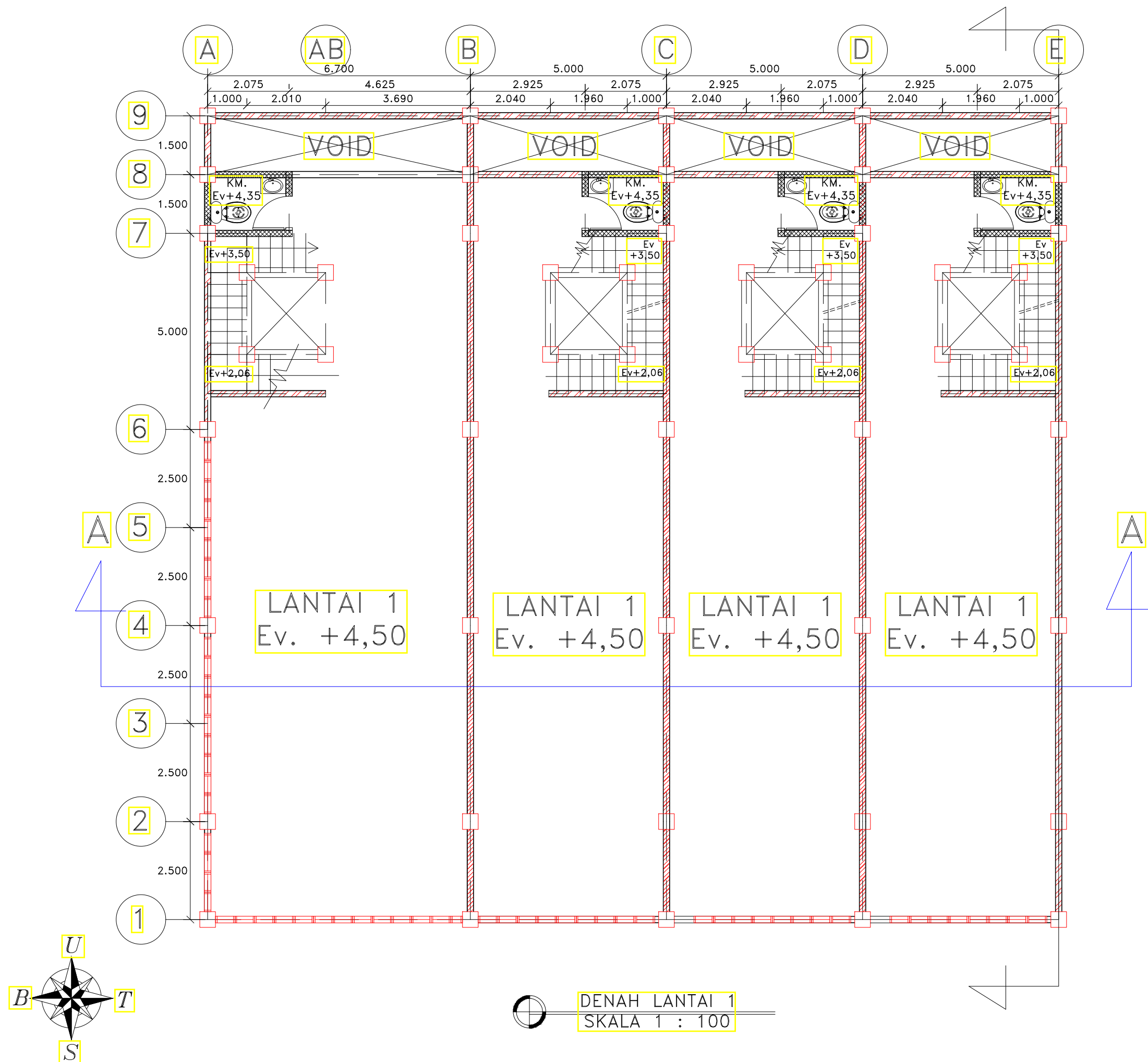
DENAH LANTAI 1  
Ev.+4,50  
SKALA 1:100  
AS A – AS E

### HALAMAN

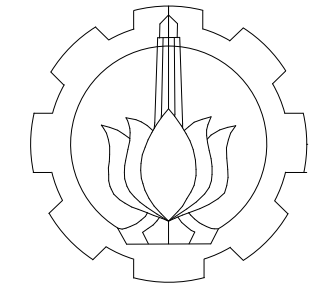
2

### KODE GAMBAR

ARS







DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN STRUKTUR BANGUNAN  
RUKO EMPAT LANTAI DI SURABAYA  
DENGAN MENGGUNAKAN METODE SISTEM  
RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH  
(SRPMM)

DOSEN PEMBIMBING

Ir. SRIE SUBEKTI, MT.  
NIP.19560520 198903 2 001

NAMA MAHASISWA

1. NAILUS SAADAH (3114030048)

JUDUL GAMBAR

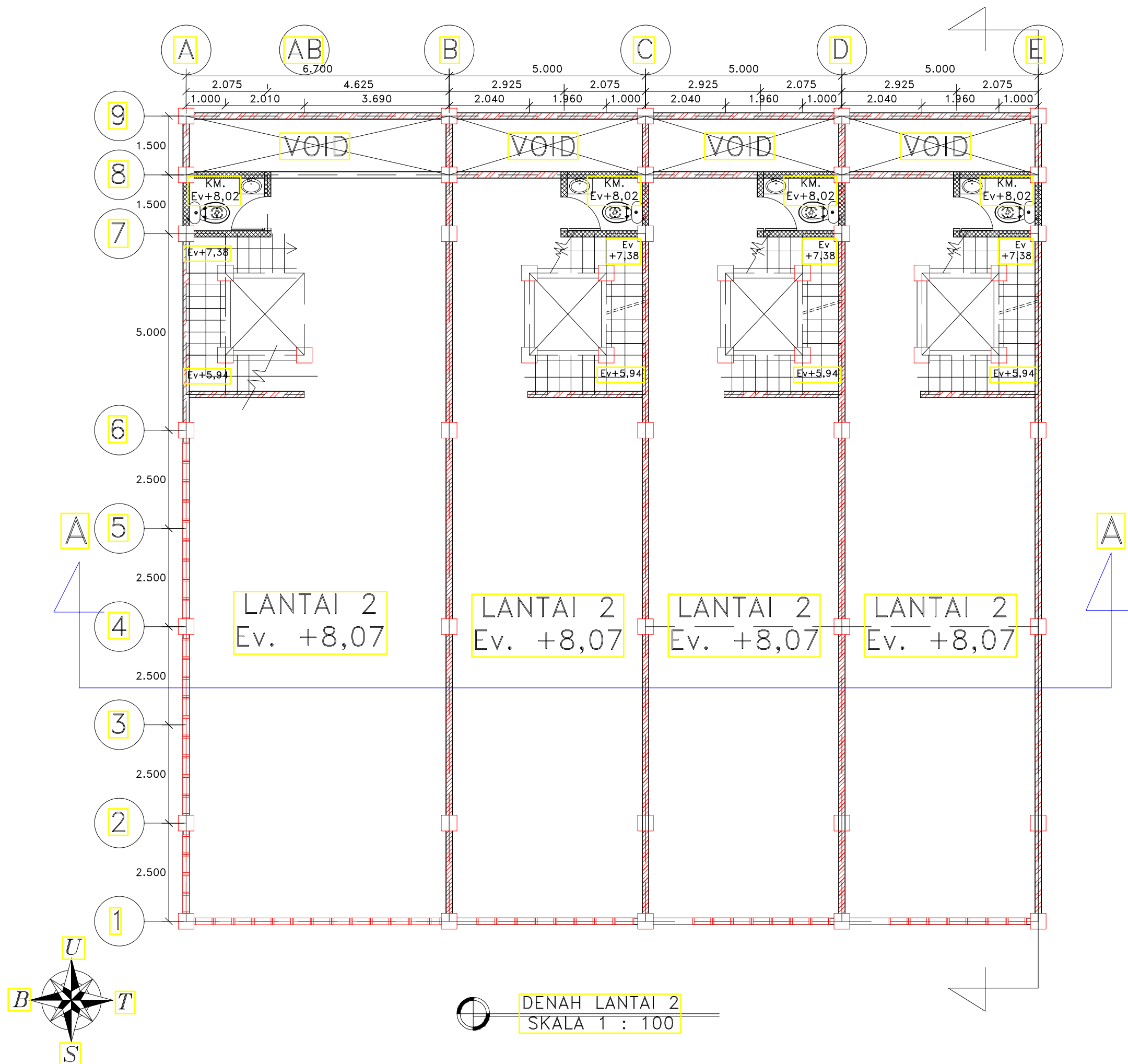
DENAH LANTAI 2  
Ev.+8,07  
SKALA 1:100  
AS A – AS E

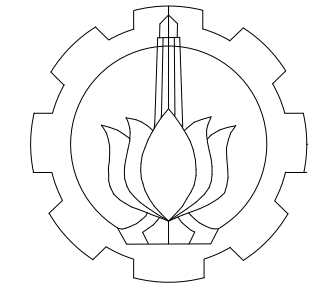
HALAMAN

3

KODE GAMBAR

ARS





DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN STRUKTUR BANGUNAN  
RUKO EMPAT LANTAI DI SURABAYA  
DENGAN MENGGUNAKAN METODE SISTEM  
RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH  
(SRPMM)

DOSEN PEMBIMBING

Ir. SRIE SUBEKTI, MT.  
NIP.19560520 198903 2 001

NAMA MAHASISWA

1. NAILUS SAADAH (3114030048)

JUDUL GAMBAR

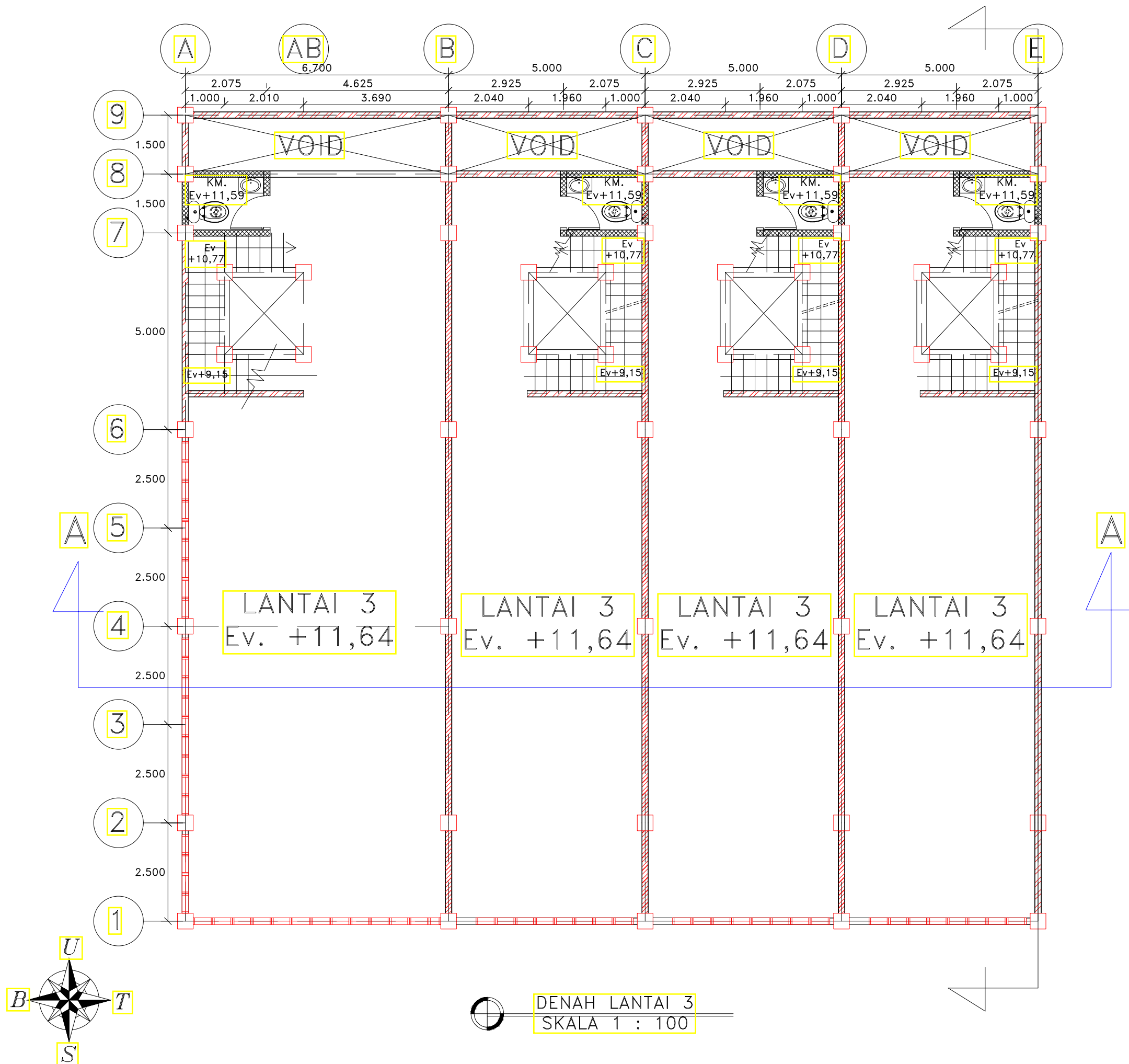
DENAH LANTAI 3  
Ev.+11,64  
SKALA 1:100  
AS A – AS E

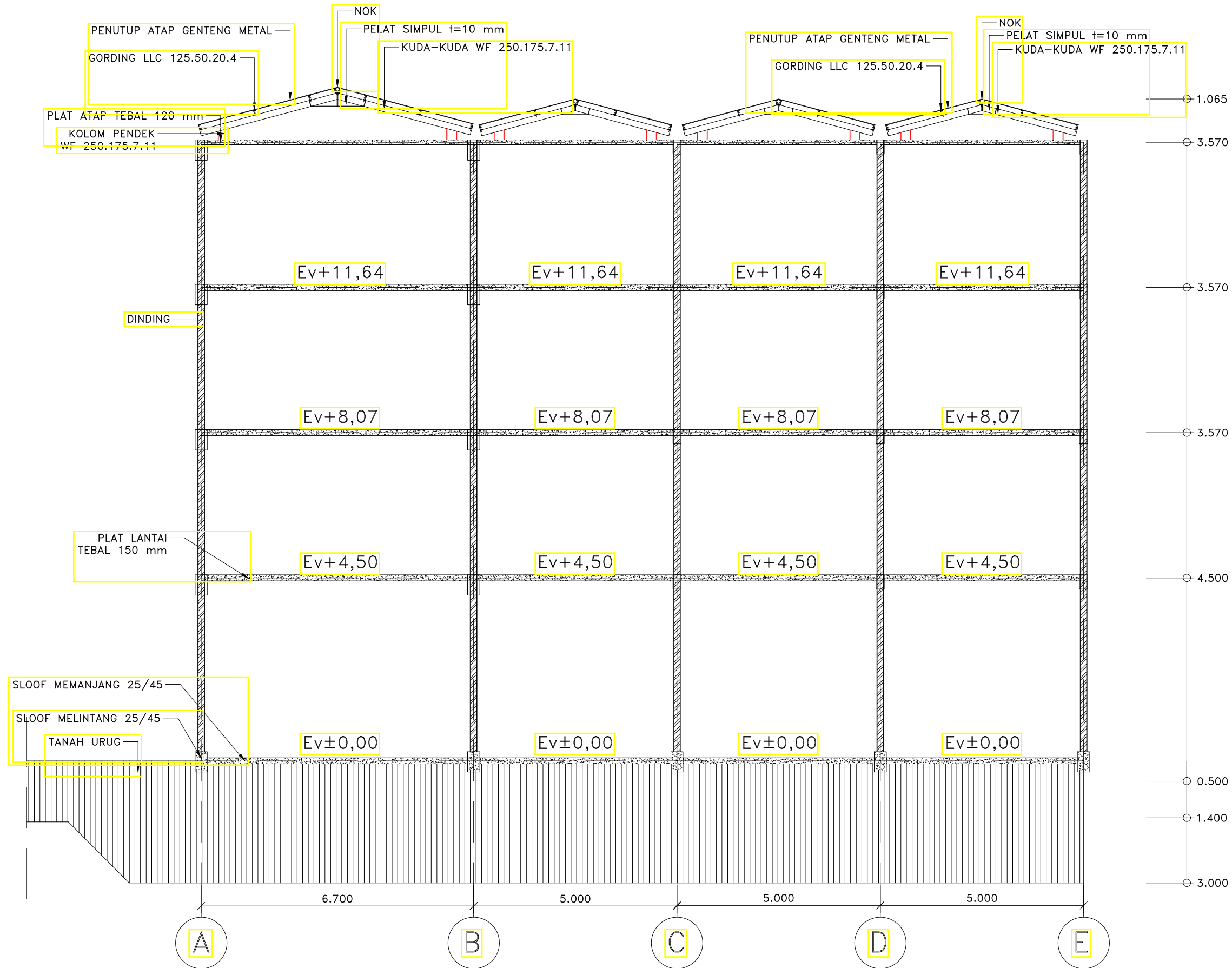
HALAMAN

4

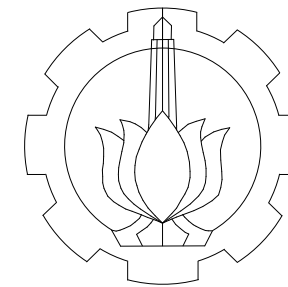
KODE GAMBAR

ARS





POTONGAN A-A  
SKALA 1 : 100



DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA

### JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN STRUKTUR BANGUNAN  
RUKO EMPAT LANTAI DI SURABAYA  
DENGAN MENGGUNAKAN METODE SISTEM  
RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH  
(SRPMM)

### DOSEN PEMBIMBING

Ir. SRIE SUBEKTI, MT.  
NIP.19560520 198903 2 001

### NAMA MAHASISWA

1. NAILUS SAADAH (3114030048)

### JUDUL GAMBAR

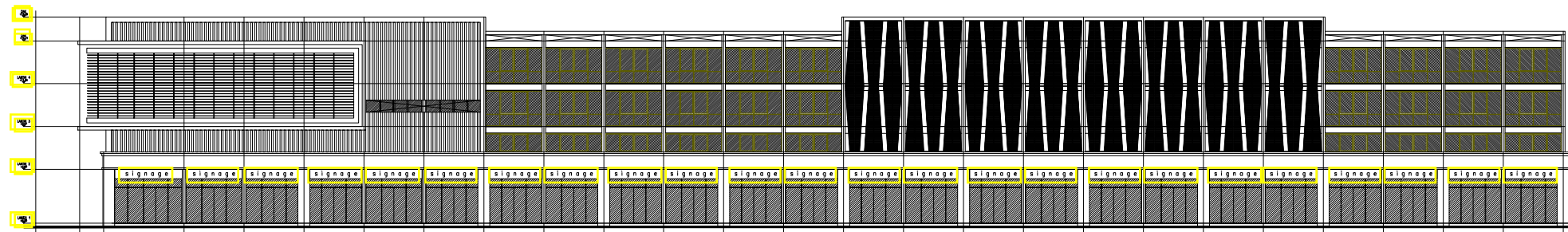
POTONGAN A-A  
SKALA 1:100  
AS A - AS E

### HALAMAN

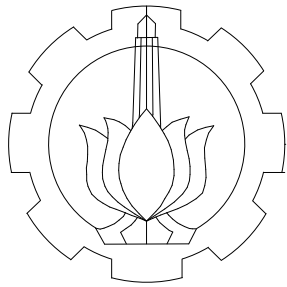
5

### KODE GAMBAR

ARS



TAMPAK SELATAN  
SKALA 1 : 500



DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN STRUKTUR BANGUNAN  
RUKO EMPAT LANTAI DI SURABAYA  
DENGAN MENGGUNAKAN METODE SISTEM  
RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH  
(SRPMM)

DOSEN PEMBIMBING

Ir. SRIE SUBEKTI, MT.

NIP.19560520 198903 2 001

NAMA MAHASISWA

1. NAILUS SAADAH (3114030048)

JUDUL GAMBAR

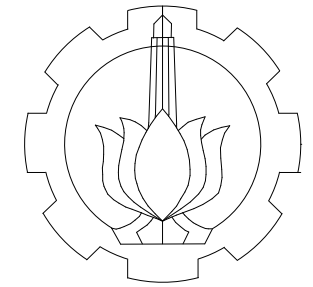
TAMPAK SELATAN  
SKALA 1:500

HALAMAN

6

KODE GAMBAR

STR



DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA

### JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN STRUKTUR BANGUNAN  
RUKO EMPAT LANTAI DI SURABAYA  
DENGAN MENGGUNAKAN METODE SISTEM  
RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH  
(SRPMM)

### DOSEN PEMBIMBING

Ir. SRIE SUBEKTI, MT.  
NIP.19560520 198903 2 001

### NAMA MAHASISWA

1. NAILUS SAADAH (3114030048)

### JUDUL GAMBAR

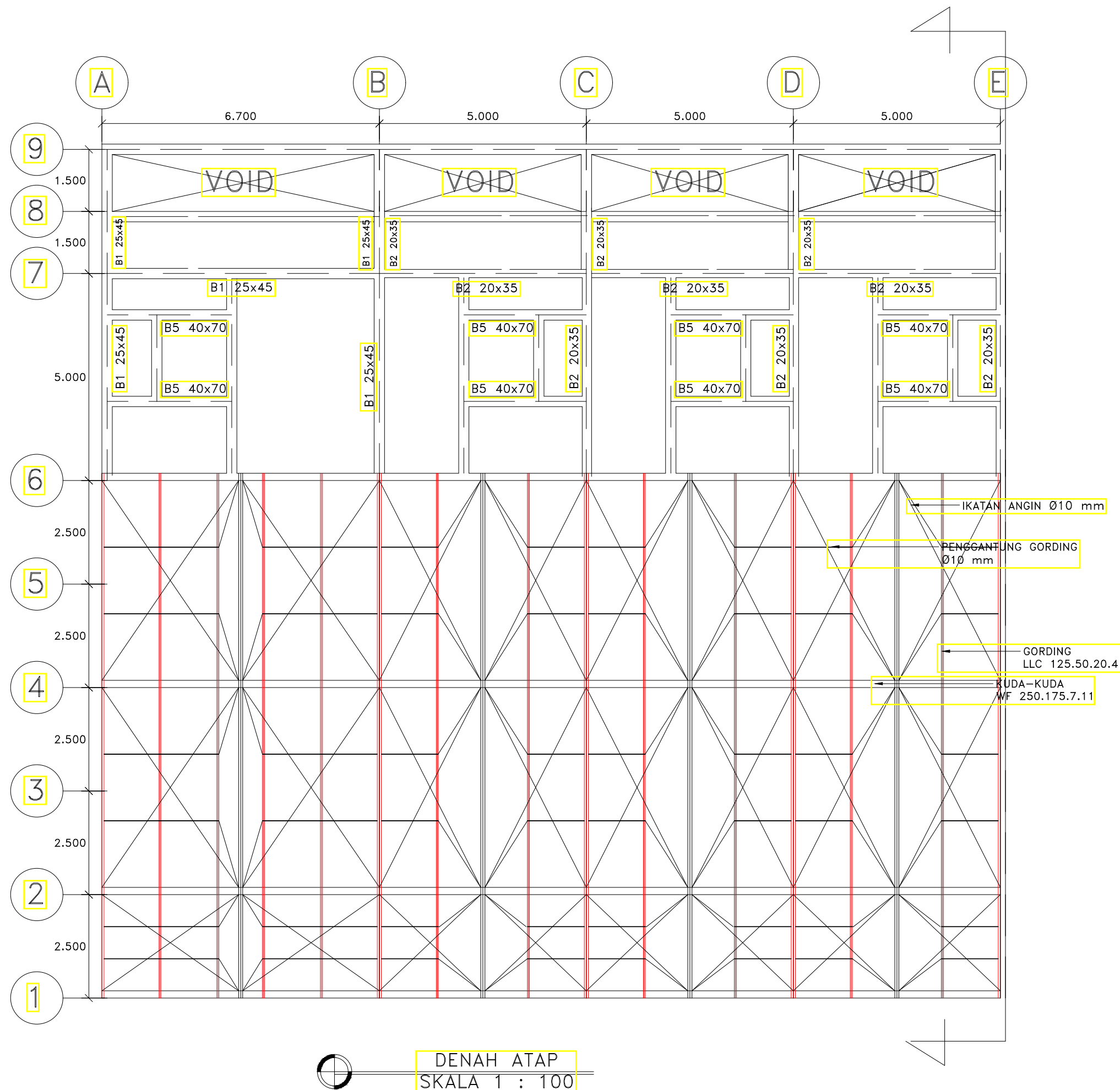
DENAH ATAP  
SKALA 1:100  
AS A – AS E

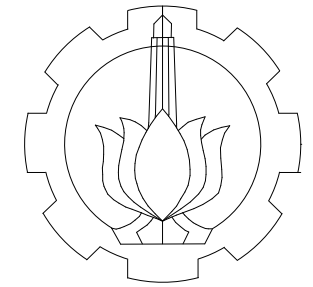
### HALAMAN

7

### KODE GAMBAR

STR





DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA

### JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN STRUKTUR BANGUNAN  
RUKO EMPAT LANTAI DI SURABAYA  
DENGAN MENGGUNAKAN METODE SISTEM  
RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH  
(SRPMM)

### DOSEN PEMBIMBING

Ir. SRIE SUBEKTI, MT.  
NIP.19560520 198903 2 001

### NAMA MAHASISWA

1. NAILUS SAADAH (3114030048)

### JUDUL GAMBAR

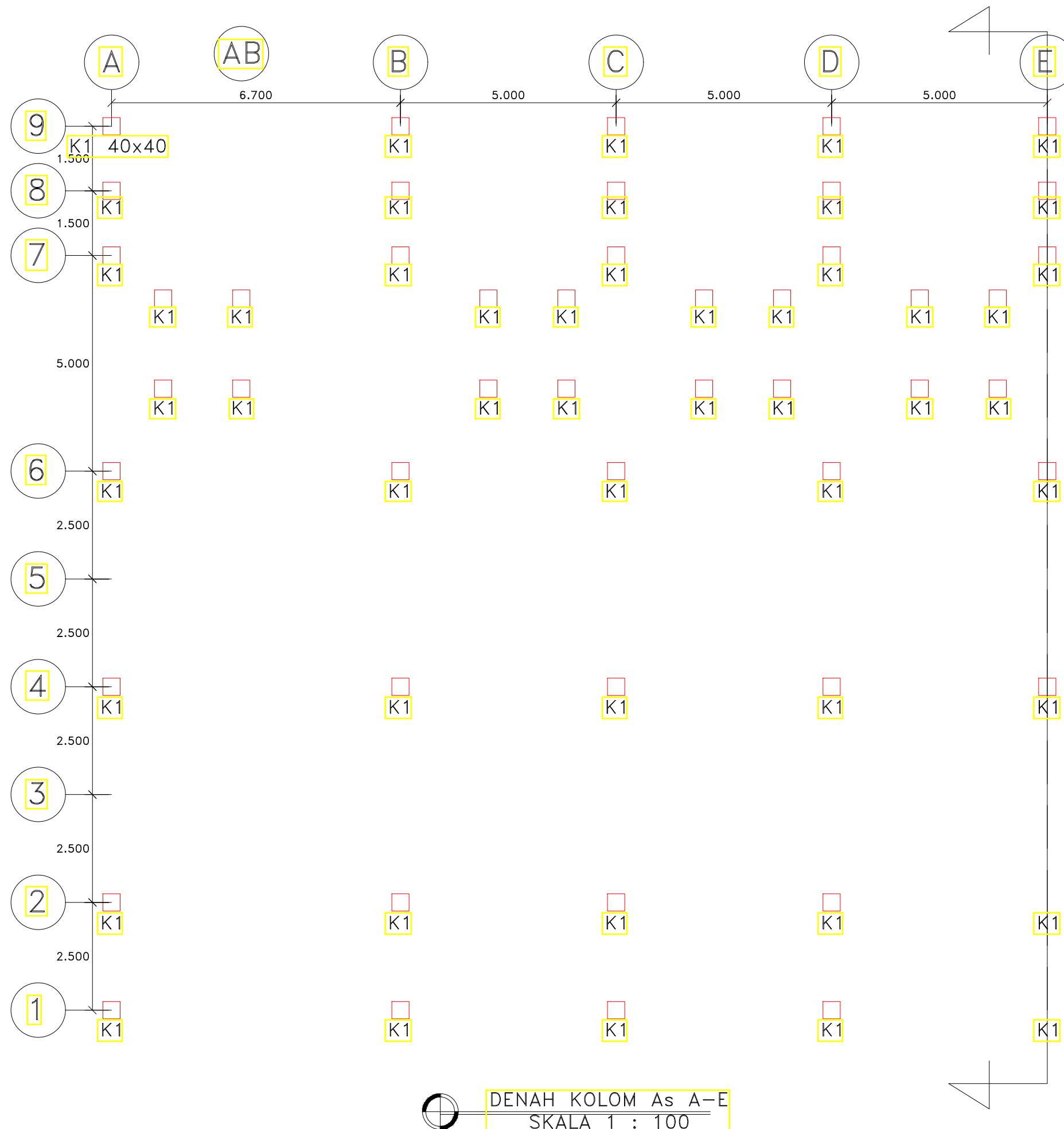
DENAH KOLOM  
As A-E  
SKALA 1:100

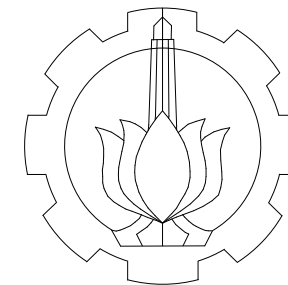
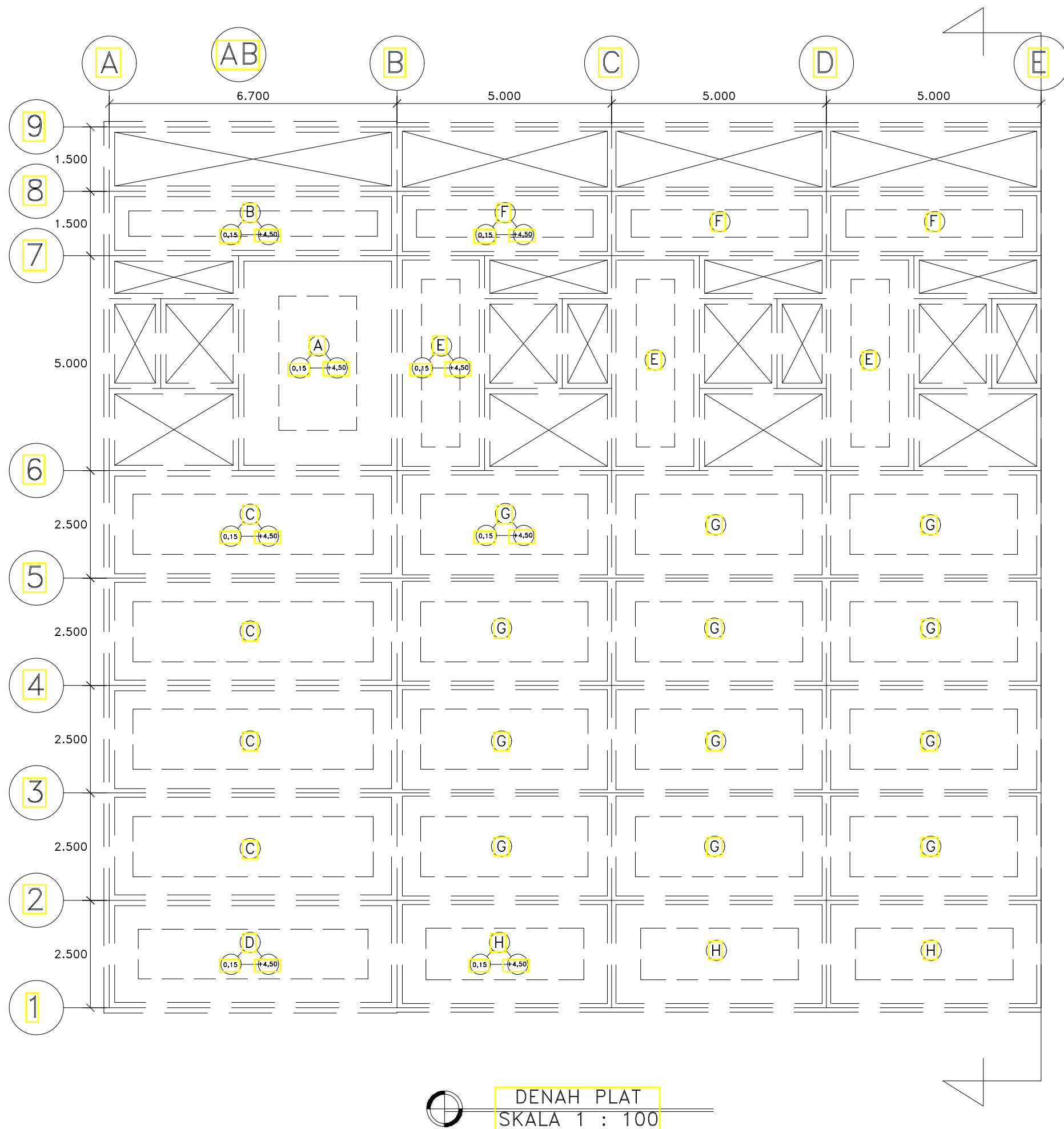
### HALAMAN

8

### KODE GAMBAR

STR





DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA

#### JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN STRUKTUR BANGUNAN  
RUKO EMPAT LANTAI DI SURABAYA  
DENGAN MENGGUNAKAN METODE SISTEM  
RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH  
(SRPMM)

#### DOSEN PEMBIMBING

Ir. SRIE SUBEKTI, MT.  
NIP.19560520 198903 2 001

#### NAMA MAHASISWA

1. NAILUS SAADAH (3114030048)

#### JUDUL GAMBAR

DENAH PLAT  
Ev.+4,50  
SKALA 1:100  
AS A – AS E

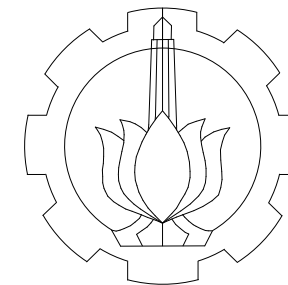
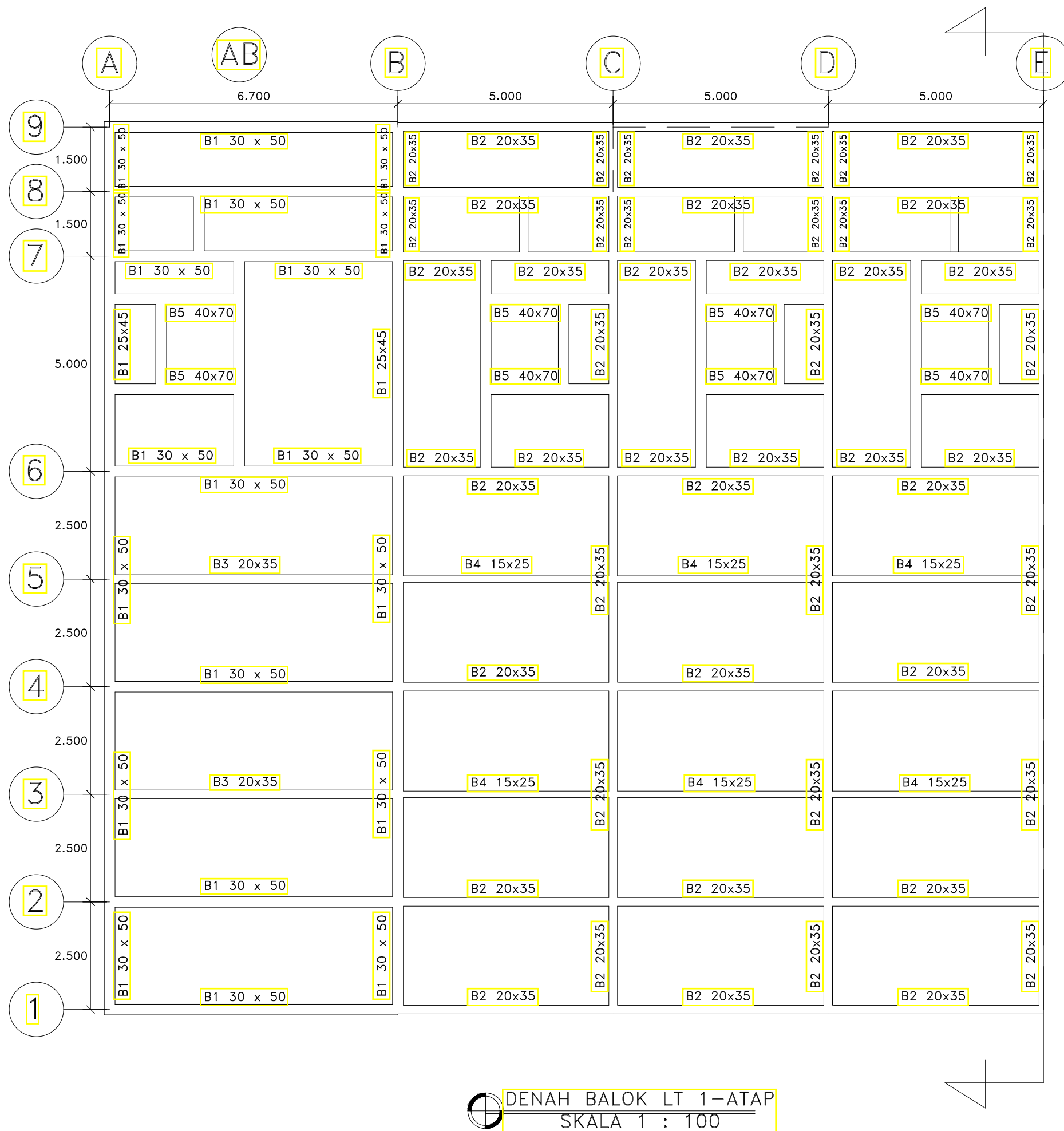
#### HALAMAN

9

#### KODE GAMBAR

STR





DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN STRUKTUR BANGUNAN  
RUKO EMPAT LANTAI DI SURABAYA  
DENGAN MENGGUNAKAN METODE SISTEM  
RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH  
(SRPMM)

DOSEN PEMBIMBING

Ir. SRIE SUBEKTI, MT.  
NIP.19560520 198903 2 001

NAMA MAHASISWA

1. NAILUS SAADAH (3114030048)

JUDUL GAMBAR

DENAH BALOK  
LANTAI 1-ATAP  
SKALA 1:100  
AS A - AS E

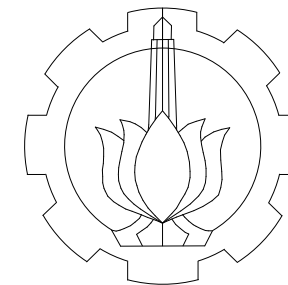
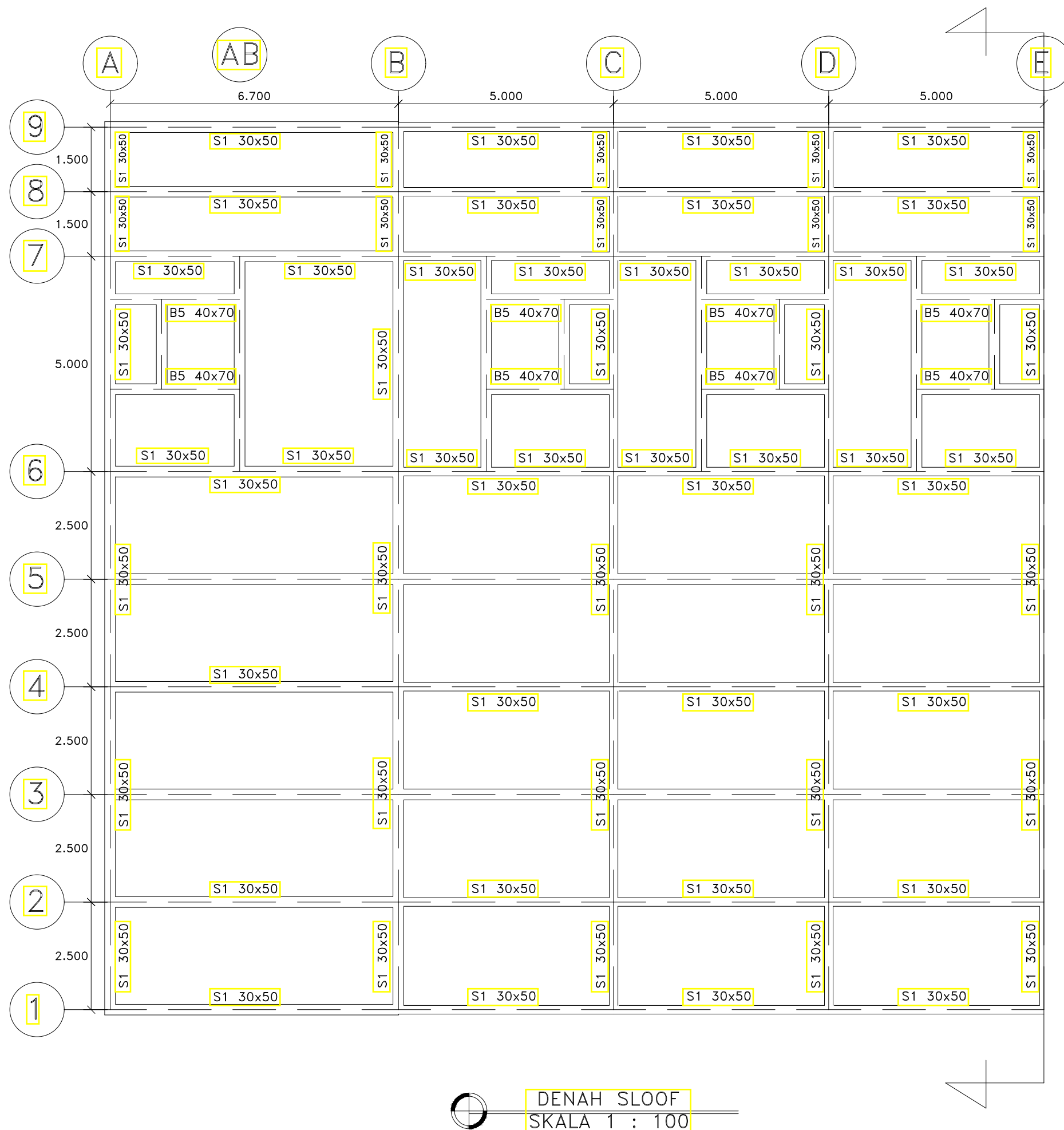
HALAMAN

KODE GAMBAR

10

STR





DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA

### JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN STRUKTUR BANGUNAN  
RUKO EMPAT LANTAI DI SURABAYA  
DENGAN MENGGUNAKAN METODE SISTEM  
RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH  
(SRPMM)

### DOSEN PEMBIMBING

Ir. SRIE SUBEKTI, MT.  
NIP.19560520 198903 2 001

### NAMA MAHASISWA

1. NAILUS SAADAH (3114030048)

### JUDUL GAMBAR

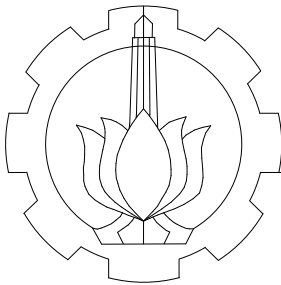
DENAH SLOOF  
Ev.±0,00  
SKALA 1:100  
AS A – AS E

### HALAMAN

11

### KODE GAMBAR

STR



DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN STRUKTUR BANGUNAN  
RUKO EMPAT LANTAI DI SURABAYA  
DENGAN MENGGUNAKAN METODE SISTEM  
RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH  
(SRPMM)

DOSEN PEMBIMBING

Ir. SRIE SUBEKTI, MT.

NIP.19560520 198903 2 001

NAMA MAHASISWA

1. NAILUS SAADAH (3114030048)

JUDUL GAMBAR

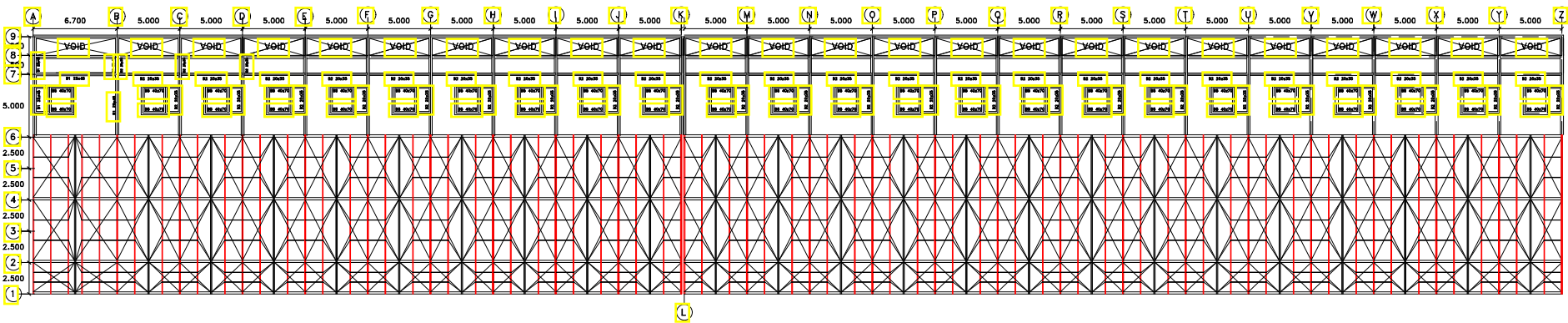
DENAH ATAP  
SKALA 1:100

HALAMAN

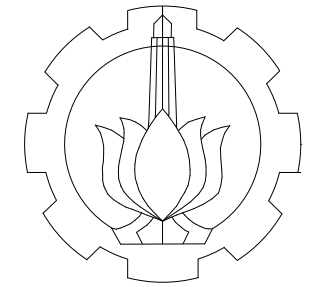
KODE GAMBAR

12

STR



DENAH ATAP  
SKALA 1 : 500



DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN STRUKTUR BANGUNAN  
RUKO EMPAT LANTAI DI SURABAYA  
DENGAN MENGGUNAKAN METODE SISTEM  
RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH  
(SRPMM)

DOSEN PEMBIMBING

Ir. SRIE SUBEKTI, MT.

NIP.19560520 198903 2 001

NAMA MAHASISWA

1. NAILUS SAADAH (3114030048)

JUDUL GAMBAR

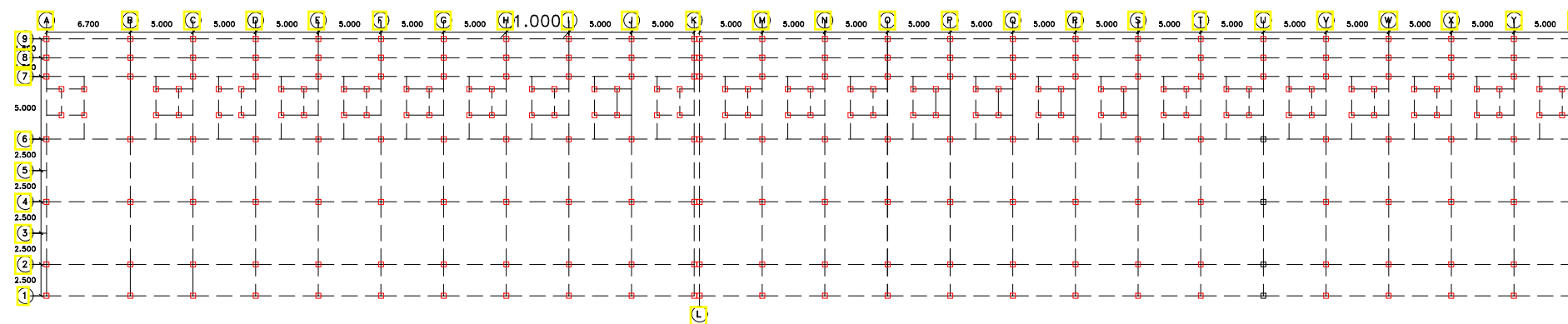
DENAH KOLOM  
SKALA 1:500

HALAMAN

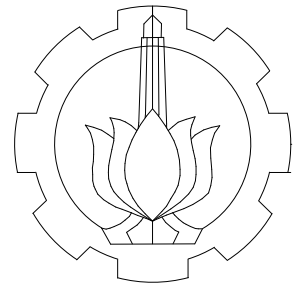
13

KODE GAMBAR

STR



DENAH KOLOM  
SKALA 1 : 500



DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN STRUKTUR BANGUNAN  
RUKO EMPAT LANTAI DI SURABAYA  
DENGAN MENGGUNAKAN METODE SISTEM  
RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH  
(SRPMM)

DOSEN PEMBIMBING

Ir. SRIE SUBEKTI, MT.

NIP.19560520 198903 2 001

NAMA MAHASISWA

1. NAILUS SAADAH (3114030048)

JUDUL GAMBAR

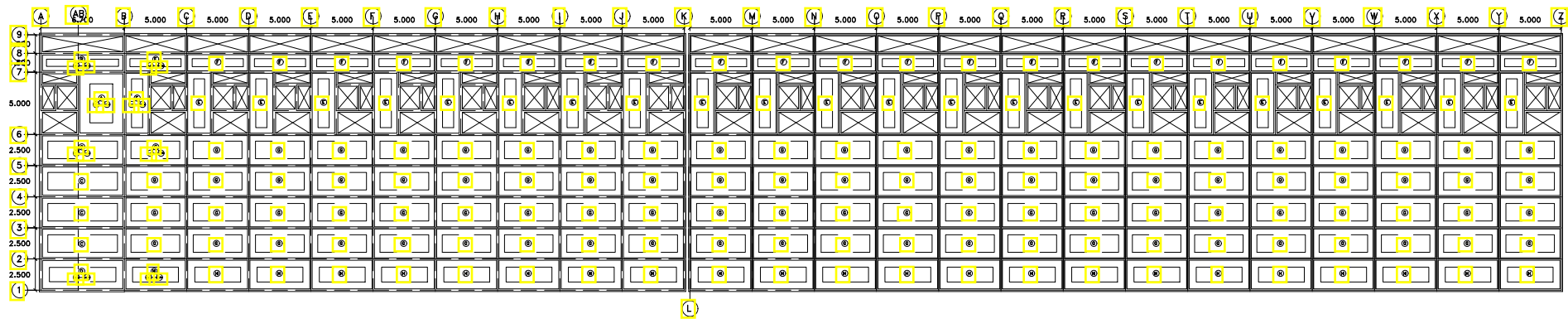
DENAH PLAT  
SKALA 1:500

HALAMAN

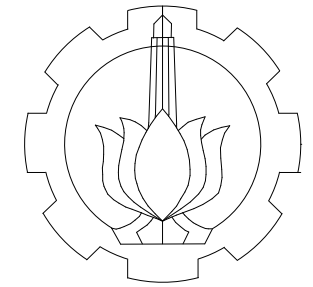
14

KODE GAMBAR

STR



DENAH PLAT LANTAI  
SKALA 1 : 500



DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN STRUKTUR BANGUNAN  
RUKO EMPAT LANTAI DI SURABAYA  
DENGAN MENGGUNAKAN METODE SISTEM  
RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH  
(SRPMM)

DOSEN PEMBIMBING

Ir. SRIE SUBEKTI, MT.  
NIP.19560520 198903 2 001

NAMA MAHASISWA

1. NAILUS SAADAH (3114030048)

JUDUL GAMBAR

DENAH PEMBALOKAN  
SKALA 1:500

HALAMAN

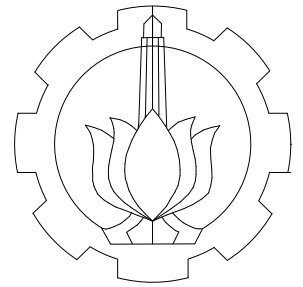
15

KODE GAMBAR

STR



DENAH BALOK  
SKALA 1 : 500



DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN STRUKTUR BANGUNAN  
RUKO EMPAT LANTAI DI SURABAYA  
DENGAN MENGGUNAKAN METODE SISTEM  
RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH  
(SRPMM)

DOSEN PEMBIMBING

Ir. SRIE SUBEKTI, MT.

NIP.19560520 198903 2 001

NAMA MAHASISWA

1. NAILUS SAADAH (3114030048)

JUDUL GAMBAR

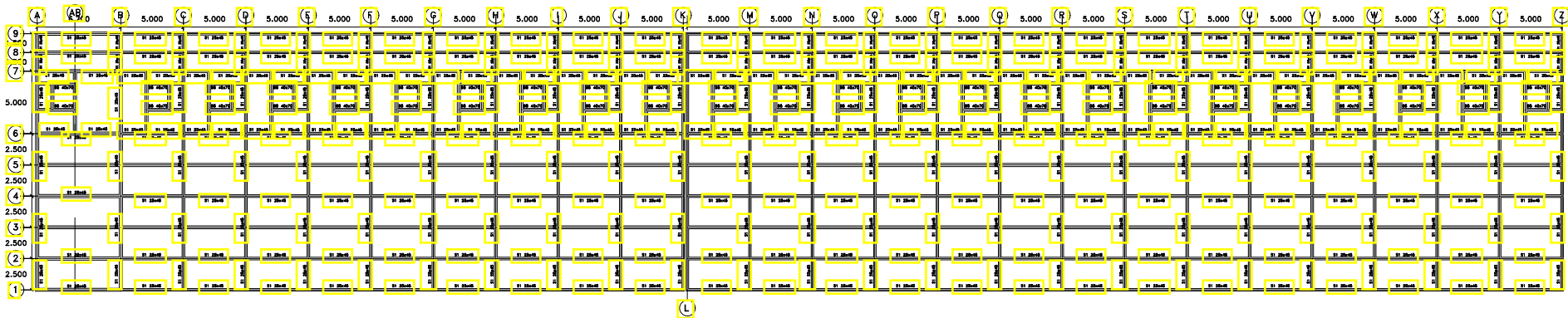
DENAH SLOOF  
SKALA 1:500

HALAMAN

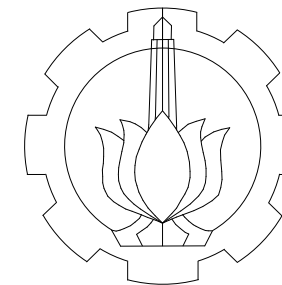
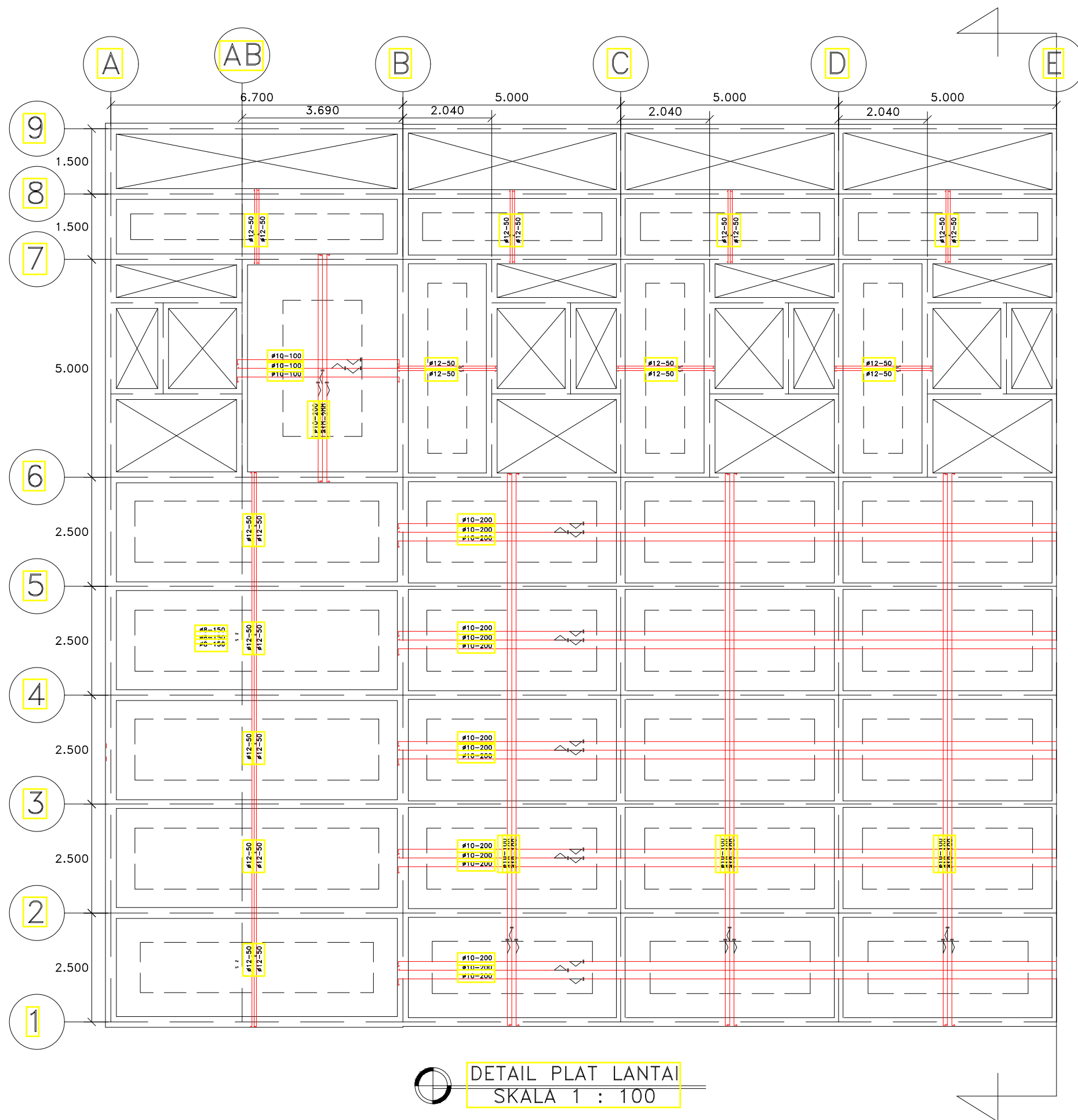
16

KODE GAMBAR

STR



DENAH SLOOF  
SKALA 1 : 500



DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA

### JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN STRUKTUR BANGUNAN  
RUKO EMPAT LANTAI DI SURABAYA  
DENGAN MENGGUNAKAN METODE SISTEM  
RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH  
(SRPMM)

### DOSEN PEMBIMBING

Ir. SRIE SUBEKTI, MT.  
NIP.19560520 198903 2 001

### NAMA MAHASISWA

1. NAILUS SAADAH (3114030048)

### JUDUL GAMBAR

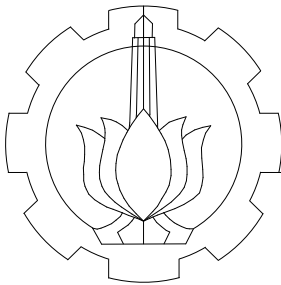
## DETAIL PLAT LANTAI

### HALAMAN

17

### KODE GAMBAR

STR



DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN STRUKTUR BANGUNAN  
RUKO EMPAT LANTAI DI SURABAYA  
DENGAN MENGGUNAKAN METODE SISTEM  
RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH  
(SRPMM)

DOSEN PEMBIMBING

Ir. SRIE SUBEKTI, MT.

NIP.19560520 198903 2 001

NAMA MAHASISWA

1. NAILUS SAADAH (3114030048)

JUDUL GAMBAR

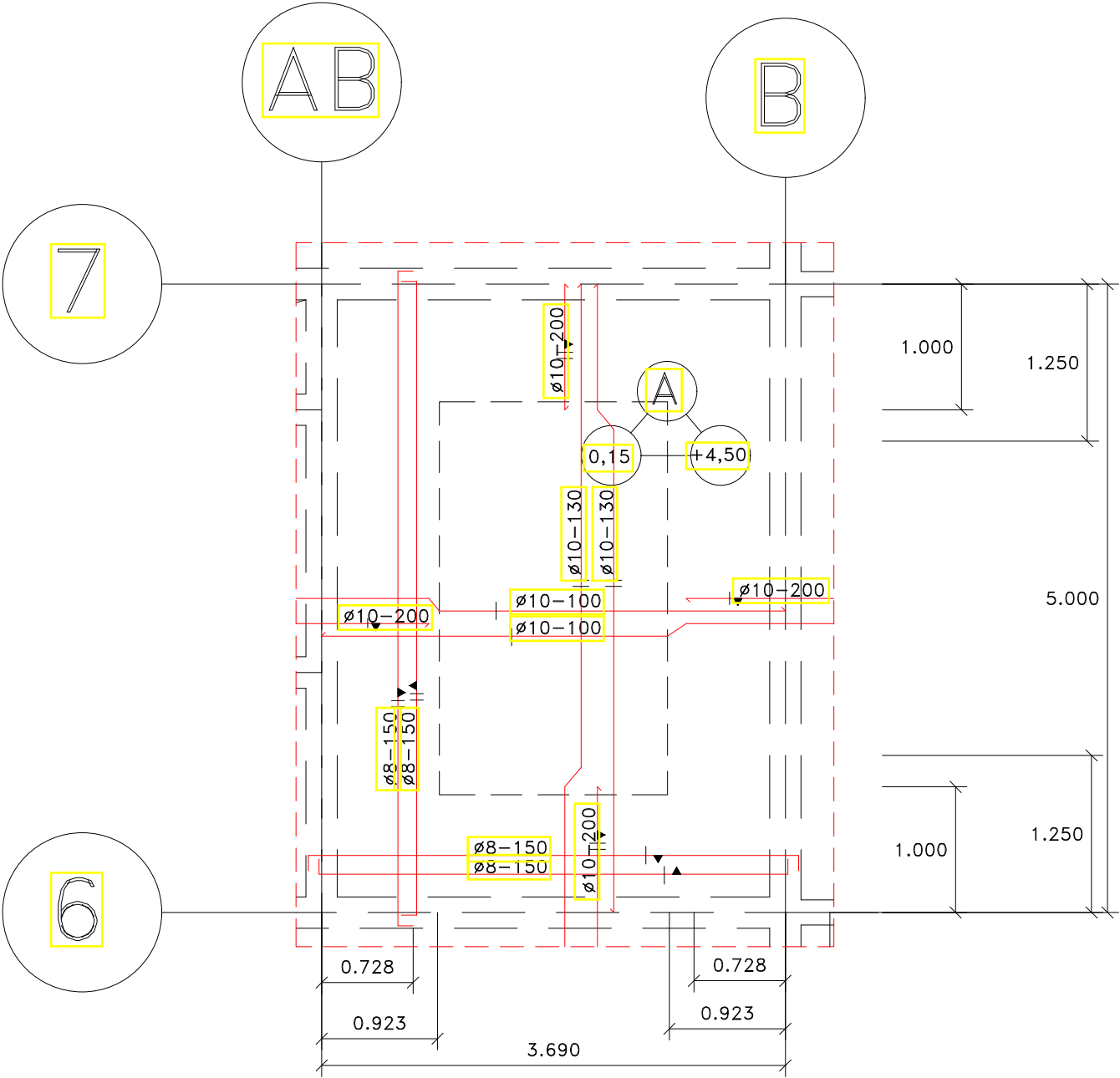
DETAIL PLAT LANTAI  
TYPE A

HALAMAN

18

KODE GAMBAR

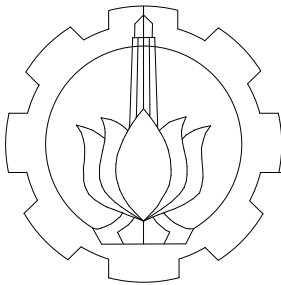
STR



DETAIL PLAT TYPE A  
SKALA 1 : 50

TYPE PLAT	ARAH	TULANGAN UTAMA				TULANGAN SUSUT	
		TUMPUAN		LAPANGAN		TUMPUAN	
		X	Y	X	Y	X	Y
A	DUA ARAH	Ø10- 100	Ø10- 200	Ø10-50	Ø10-65	Ø8-150	Ø8-150





DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN STRUKTUR BANGUNAN  
RUKO EMPAT LANTAI DI SURABAYA  
DENGAN MENGGUNAKAN METODE SISTEM  
RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH  
(SRPMM)

DOSEN PEMBIMBING

Ir. SRIE SUBEKTI, MT.

NIP.19560520 198903 2 001

NAMA MAHASISWA

1. NAILUS SAADAH (3114030048)

JUDUL GAMBAR

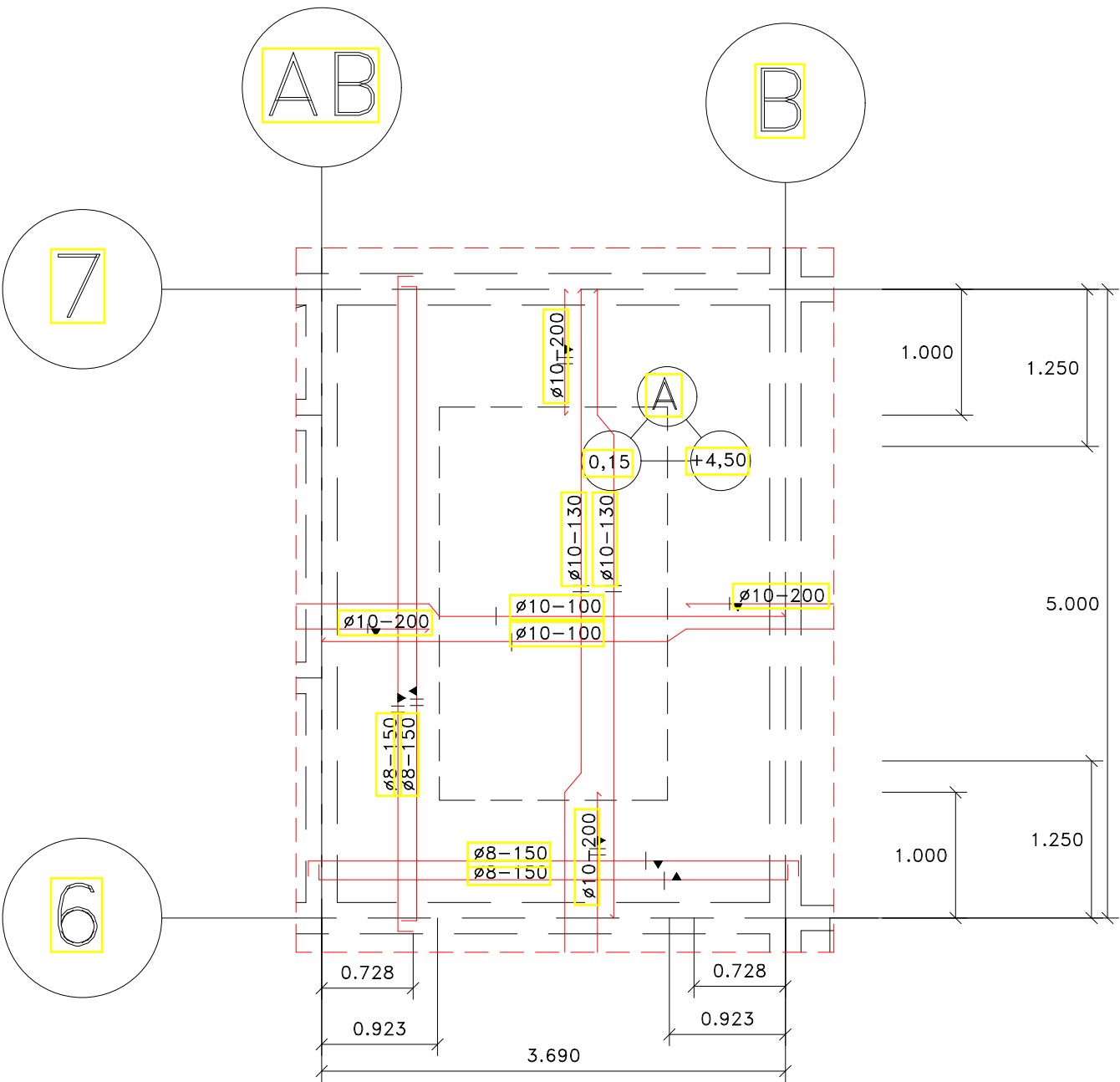
DETAIL PLAT LANTAI  
TYPE A

HALAMAN

18

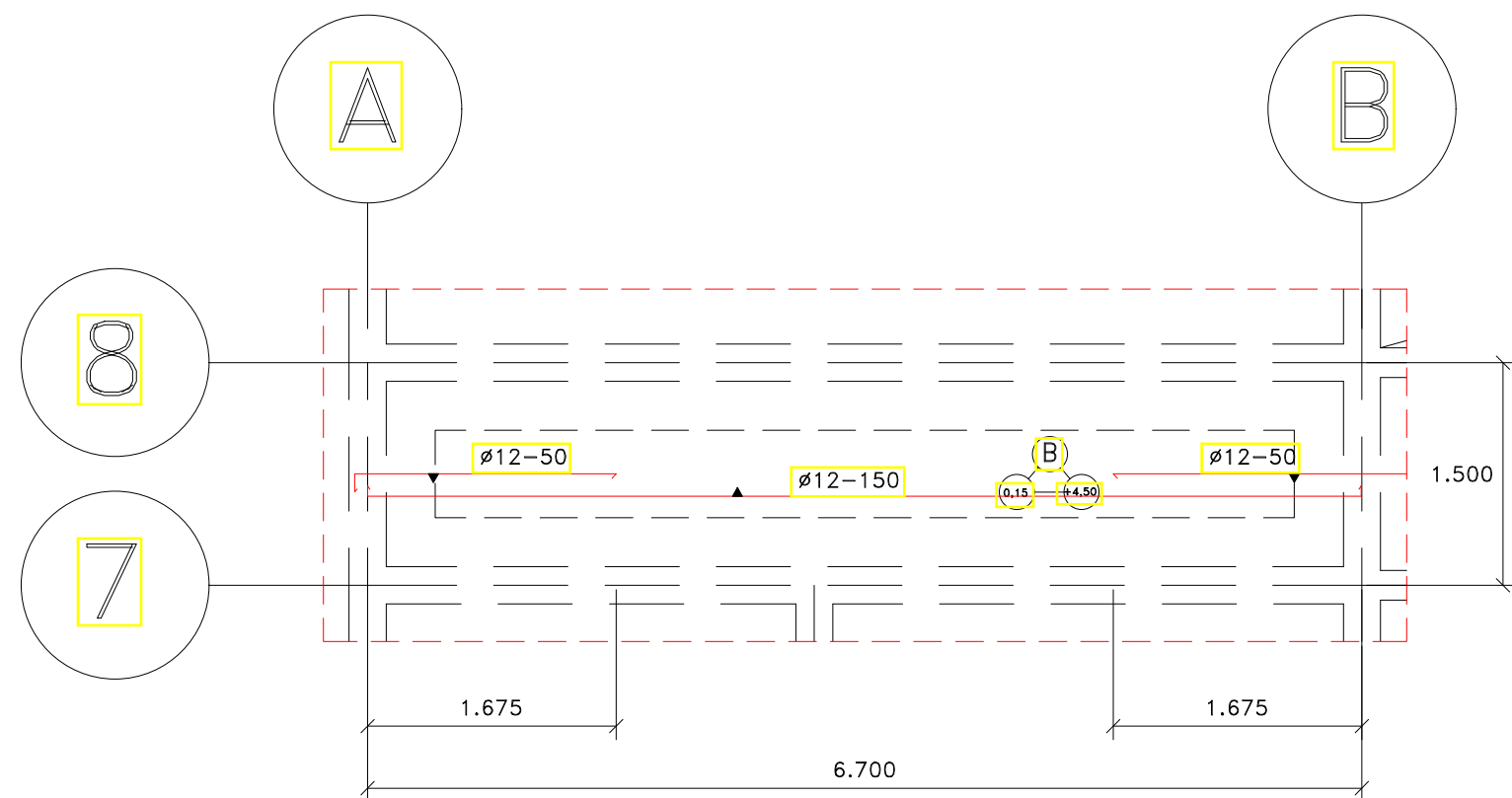
KODE GAMBAR

STR



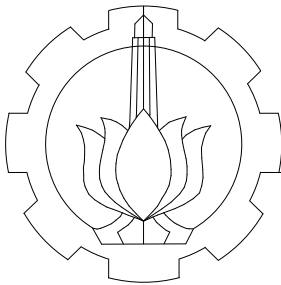
DETAIL PLAT TYPE A  
SKALA 1 : 50

TYPE PLAT	ARAH	TULANGAN UTAMA				TULANGAN SUSUT	
		TUMPUAN		LAPANGAN		TUMPUAN	
		X	Y	X	Y	X	Y
A	DUA ARAH	Ø10- 100	Ø10- 200	Ø10-50	Ø10-65	Ø8-150	Ø8-150



DETAIL PLAT TYPE B & F  
SKALA 1 : 50

TYPE PLAT	ARAH	TULANGAN UTAMA		TULANGAN SUSUT
		TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN
		X	X	X
B,F	SATU ARAH	Ø12-50	Ø12-150	Ø8-150



DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN STRUKTUR BANGUNAN  
RUKO EMPAT LANTAI DI SURABAYA  
DENGAN MENGGUNAKAN METODE SISTEM  
RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH  
(SRPMM)

DOSEN PEMBIMBING

Ir. SRIE SUBEKTI, MT.

NIP.19560520 198903 2 001

NAMA MAHASISWA

1. NAILUS SAADAH (3114030048)

JUDUL GAMBAR

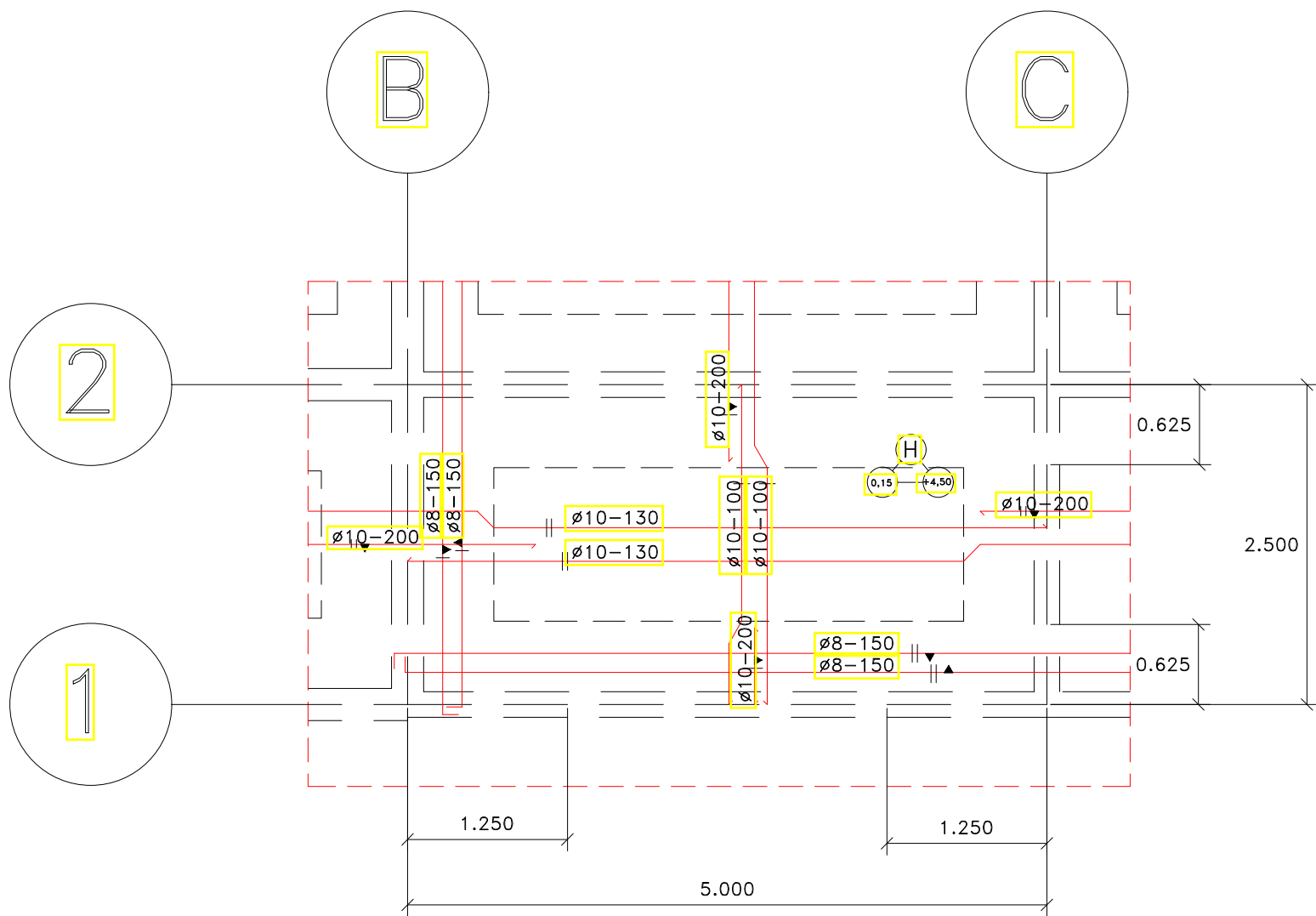
DETAIL PLAT LANTAI  
TYPE B DAN F

HALAMAN

19

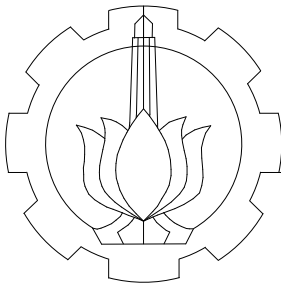
KODE GAMBAR

STR



DETAIL PLAT TYPE G & H  
SKALA 1 : 50

TYPE PLAT	ARAH	TULANGAN UTAMA				TULANGAN SUSUT	
		TUMPUAN		LAPANGAN		TUMPUAN	
		X	Y	X	Y	X	Y
G dan H	DUA ARAH	Ø10-100	Ø10-200	Ø10-50	Ø10-65	Ø8-150	Ø8-150



DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN STRUKTUR BANGUNAN  
RUKO EMPAT LANTAI DI SURABAYA  
DENGAN MENGGUNAKAN METODE SISTEM  
RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH  
(SRPMM)

DOSEN PEMBIMBING

Ir. SRIE SUBEKTI, MT.

NIP.19560520 198903 2 001

NAMA MAHASISWA

1. NAILUS SAADAH (3114030048)

JUDUL GAMBAR

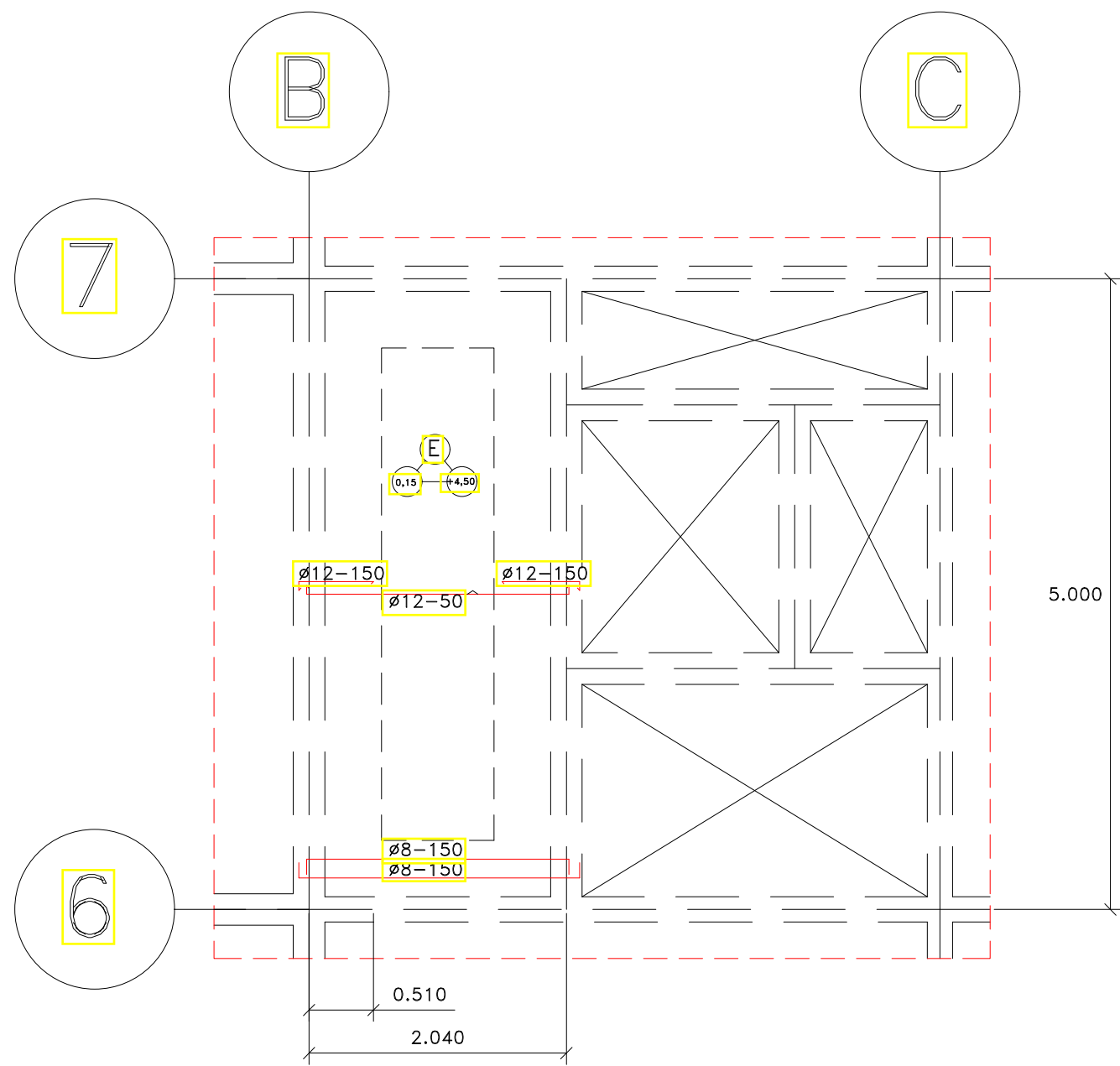
DETAIL PLAT LANTAI  
TYPE G DAN H

HALAMAN

20

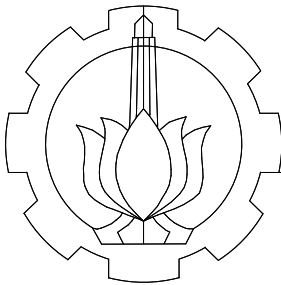
KODE GAMBAR

STR



DETAIL PLAT TYPE E  
SKALA 1 : 50

TYPE PLAT	ARAH	TULANGAN UTAMA		TULANGAN SUSUT
		TUMPUAN	LAPANGAN	TUMPUAN
		X	X	X
E	SATU ARAH	ø12-50	ø12-150	ø8-150



DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN STRUKTUR BANGUNAN  
RUKO EMPAT LANTAI DI SURABAYA  
DENGAN MENGGUNAKAN METODE SISTEM  
RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH  
(SRPMM)

DOSEN PEMBIMBING

Ir. SRIE SUBEKTI, MT.

NIP.19560520 198903 2 001

NAMA MAHASISWA

1. NAILUS SAADAH (3114030048)

JUDUL GAMBAR

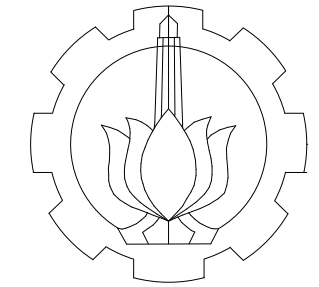
DETAIL PLAT LANTAI  
TYPE E

HALAMAN

21

KODE GAMBAR

STR



DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN STRUKTUR BANGUNAN  
RUKO EMPAT LANTAI DI SURABAYA  
DENGAN MENGGUNAKAN METODE SISTEM  
RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH  
(SRPMM)

DOSEN PEMBIMBING

Ir. SRIE SUBEKTI, MT.  
NIP.19560520 198903 2 001

NAMA MAHASISWA

1. NAILUS SAADAH (3114030048)

JUDUL GAMBAR

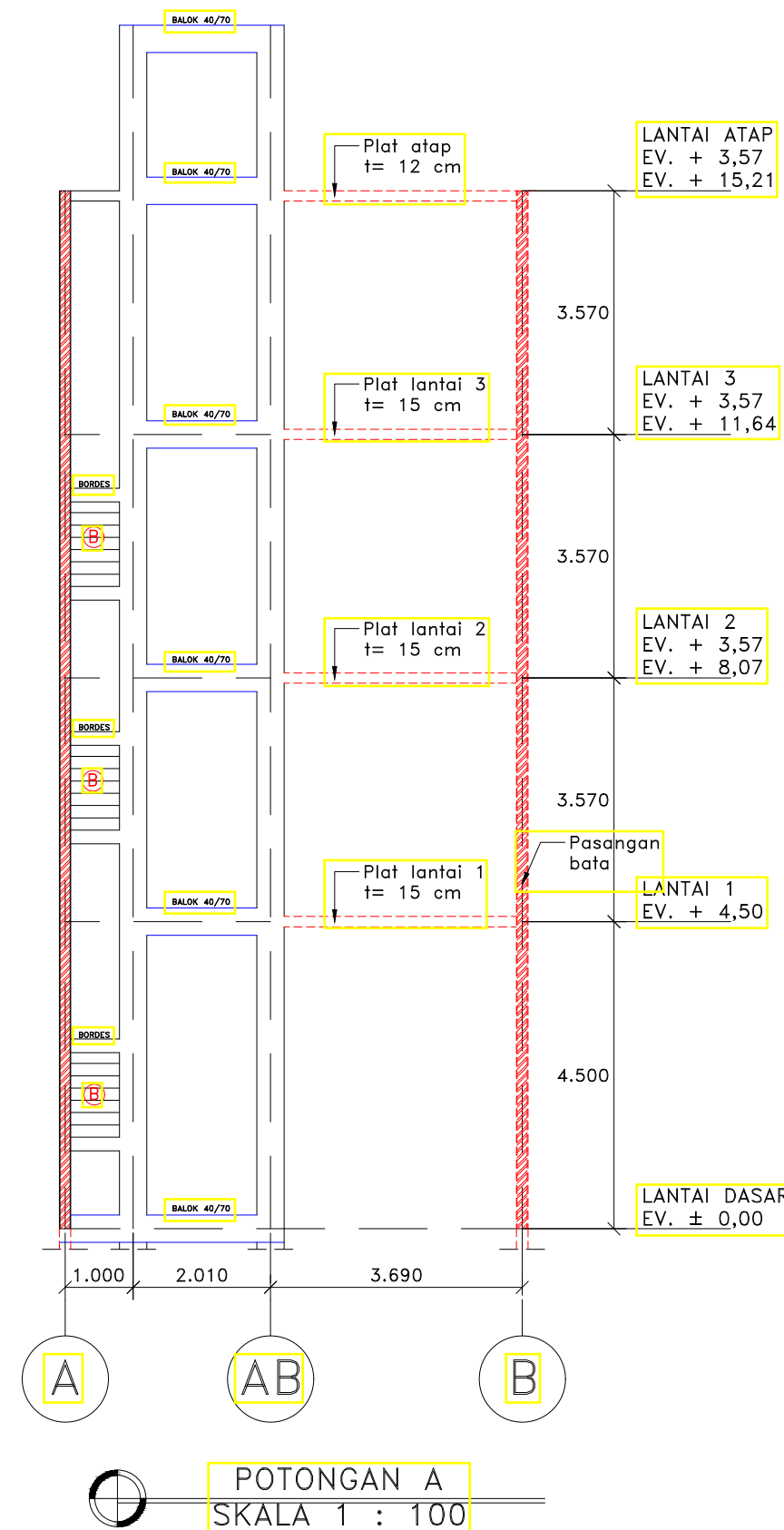
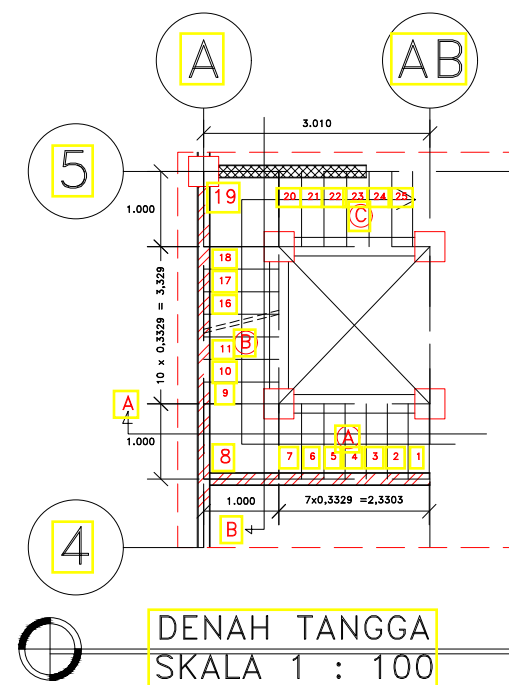
DENAH DAN POTONGAN  
TANGGA  
SKALA 1:100

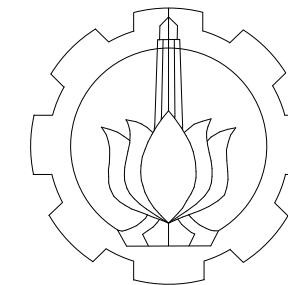
HALAMAN

22

KODE GAMBAR

STR





DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA

## JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN STRUKTUR BANGUNAN  
RUKO EMPAT LANTAI DI SURABAYA  
DENGAN MENGGUNAKAN METODE SISTEM  
RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH  
(SRPMM)

## DOSEN PEMBIMBING

Ir. SRIE SUBEKTI, MT.  
NIP.19560520 198903 2 001

## NAMA MAHASISWA

1. NAILUS SAADAH (3114030048)

## JUDUL GAMBAR

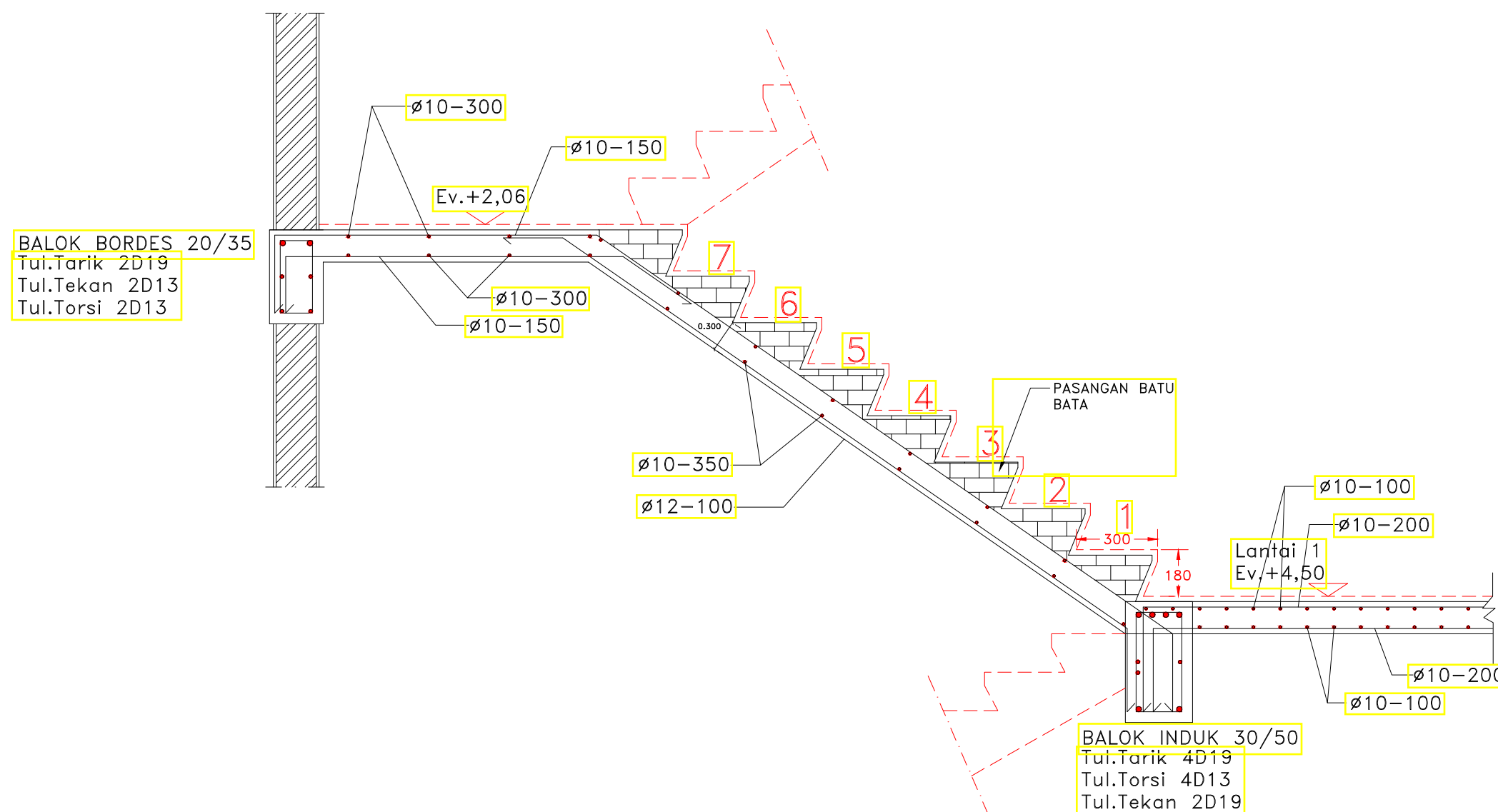
DETAIL TANGGA A  
SKALA 1:25

## HALAMAN

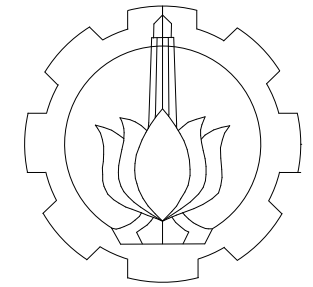
23

## KODE GAMBAR

ARS



DETAIL TANGGA A  
SKALA 1 : 25



DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA

## JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN STRUKTUR BANGUNAN  
RUKO EMPAT LANTAI DI SURABAYA  
DENGAN MENGGUNAKAN METODE SISTEM  
RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH  
(SRPMM)

## DOSEN PEMBIMBING

Ir. SRIE SUBEKTI, MT.  
NIP.19560520 198903 2 001

## NAMA MAHASISWA

1. NAILUS SAADAH (3114030048)

## JUDUL GAMBAR

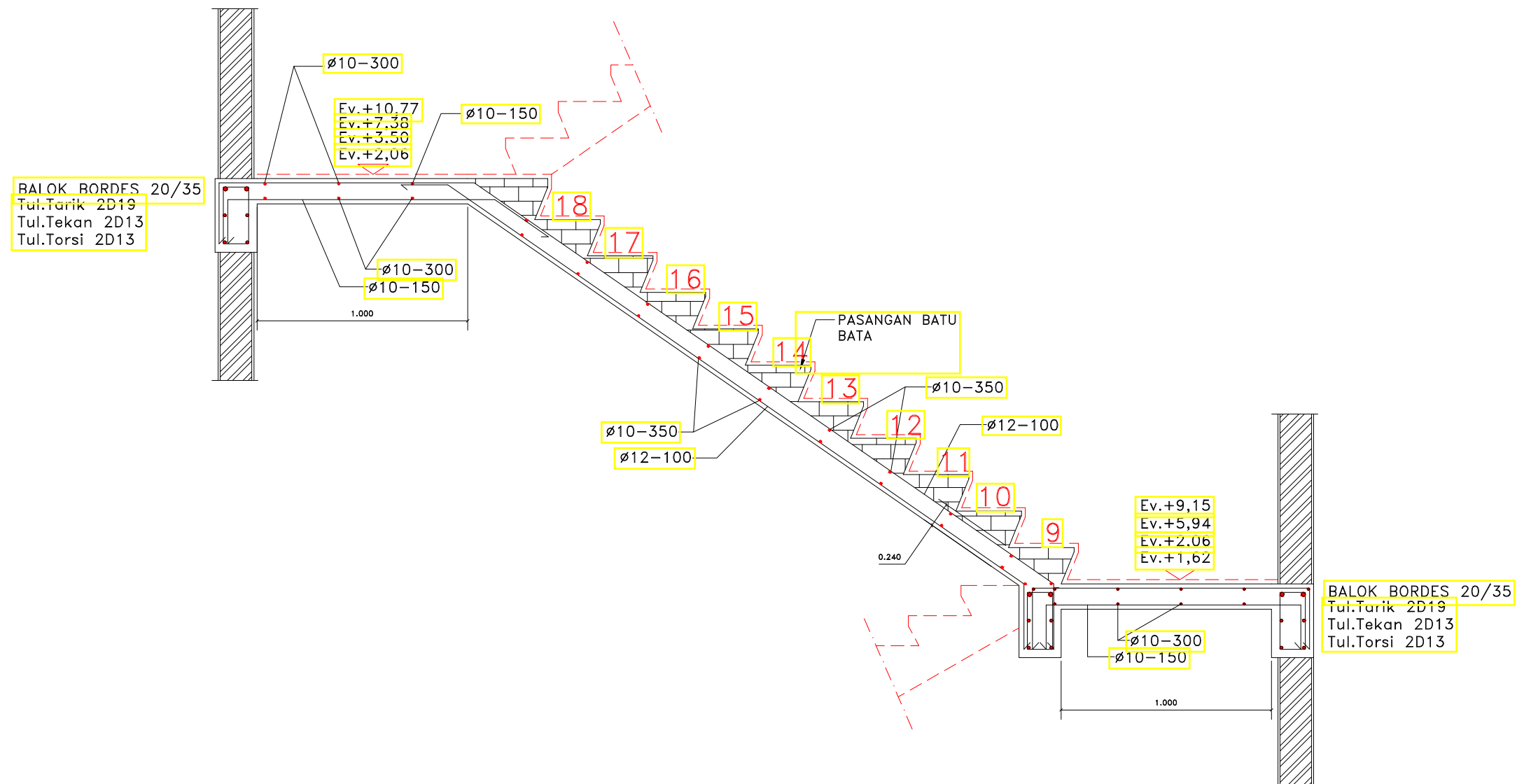
## DETAIL TANGGA B SKALA 1:25

## HALAMAN

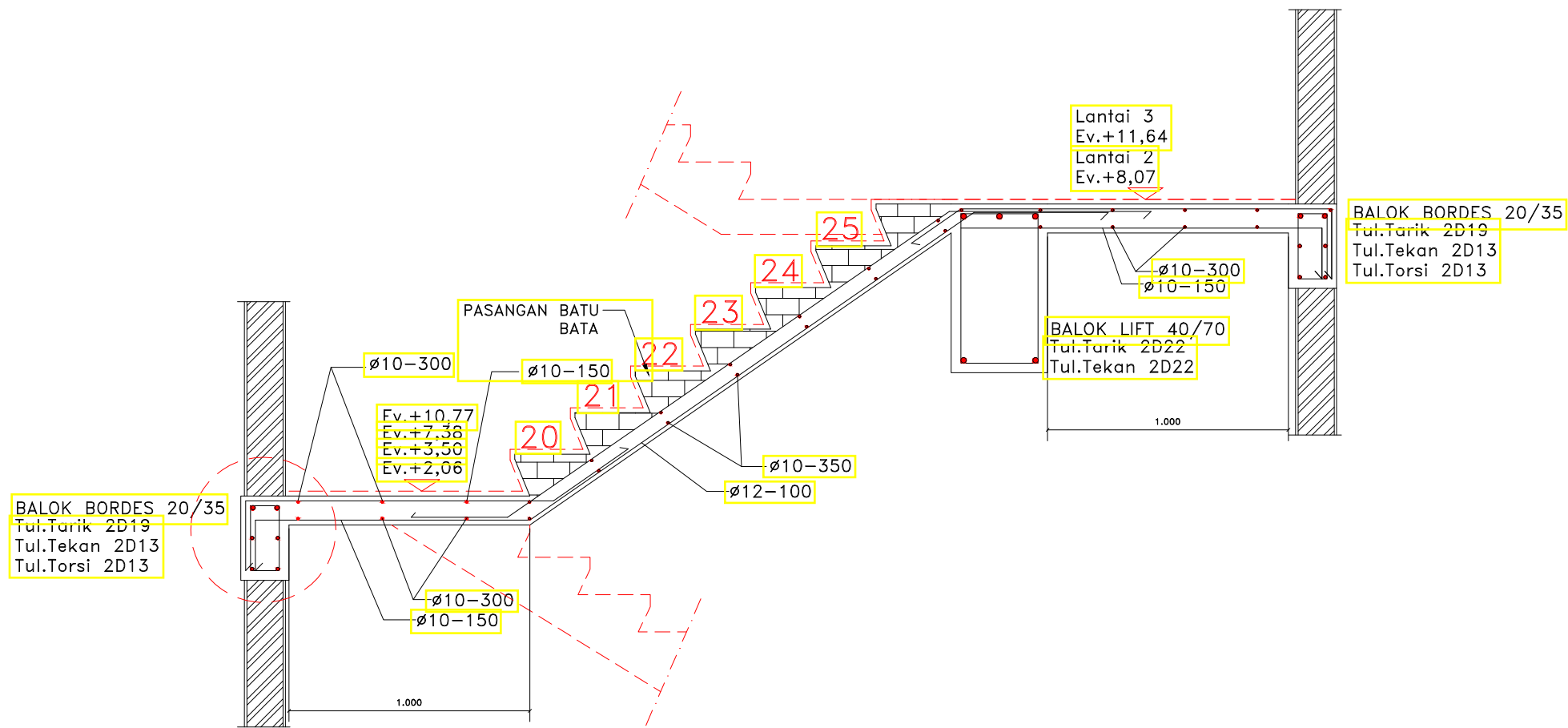
24

## KODE GAMBAR

STR

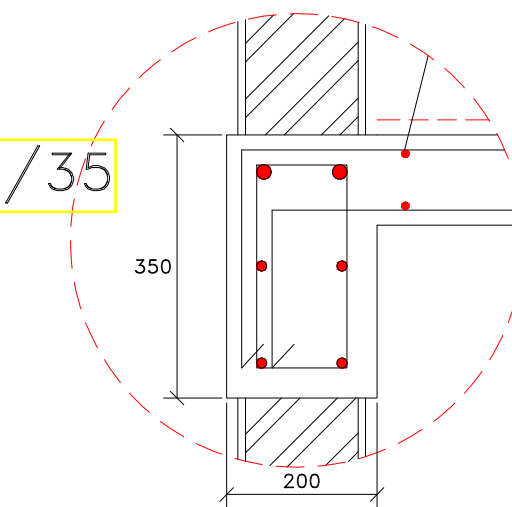


DETAIL TANGGA B  
SKALA 1 : 25

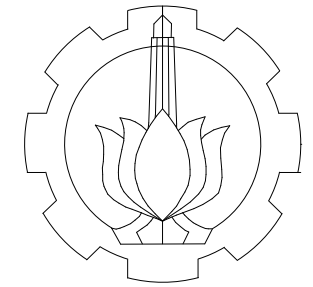


DETAIL TANGGA C  
SKALA 1 : 25

BALOK BORDES 20/35  
Tul.Tarik 2D19  
Tul.Torsi 2D13  
Tul.Tekan 2D13



DETAIL BALOK BORDES  
SKALA 1 : 10



DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN STRUKTUR BANGUNAN  
RUKO EMPAT LANTAI DI SURABAYA  
DENGAN MENGGUNAKAN METODE SISTEM  
RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH  
(SRPMM)

DOSEN PEMBIMBING

Ir. SRIE SUBEKTI, MT.  
NIP.19560520 198903 2 001

NAMA MAHASISWA

1. NAILUS SAADAH (3114030048)

JUDUL GAMBAR

DETAIL TANGGA C  
SKALA 1:25

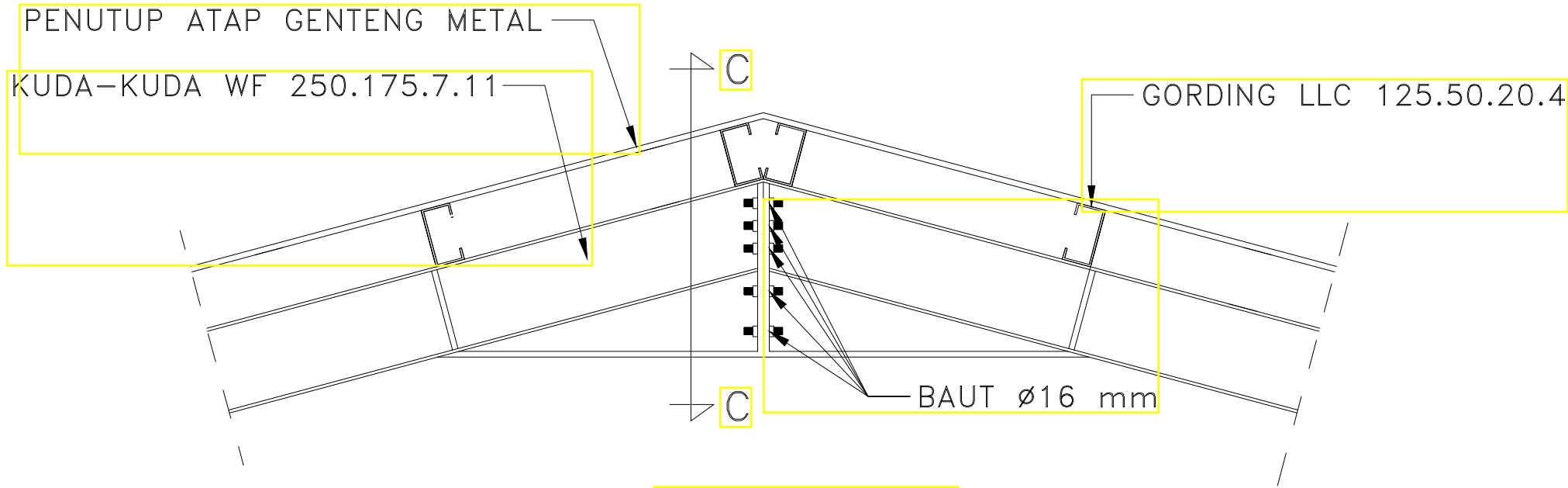
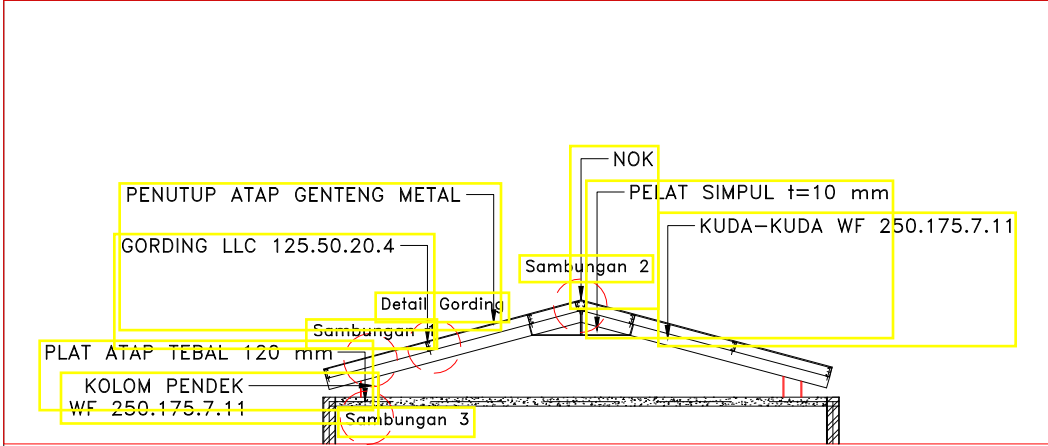
HALAMAN

KODE GAMBAR

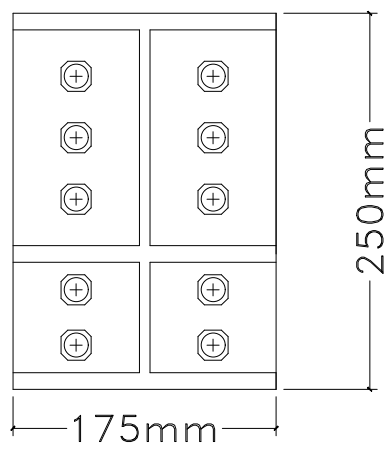
25

STR

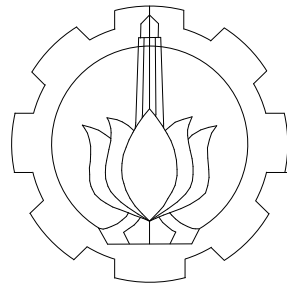




DETAIL SAMBUNGAN I  
SKALA 1 : 20



POTONGAN C - C  
SKALA 1 : 20



DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN STRUKTUR BANGUNAN  
RUKO EMPAT LANTAI DI SURABAYA  
DENGAN MENGGUNAKAN METODE SISTEM  
RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH  
(SRPMM)

DOSEN PEMBIMBING

Ir. SRIE SUBEKTI, MT.  
NIP.19560520 198903 2 001

NAMA MAHASISWA

1. NAILUS SAADAH (3114030048)

JUDUL GAMBAR

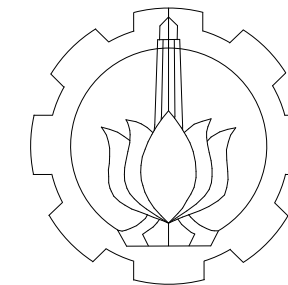
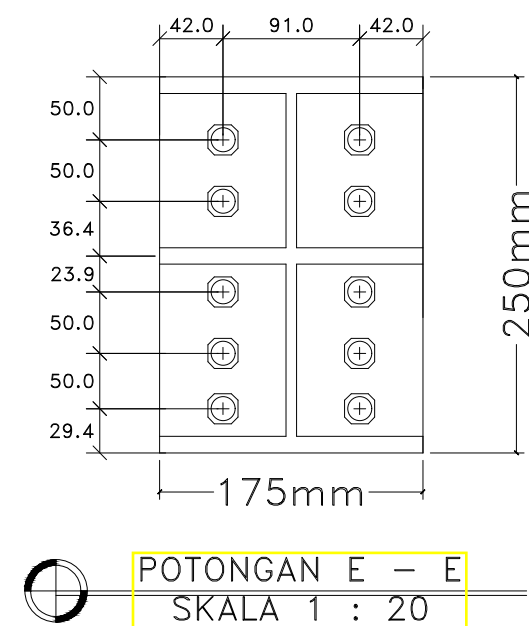
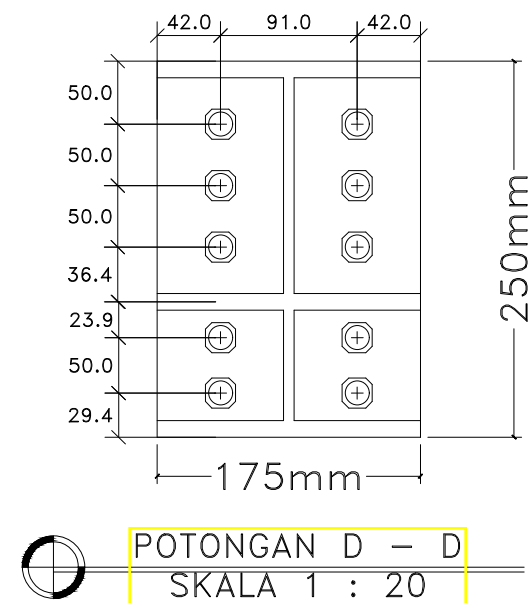
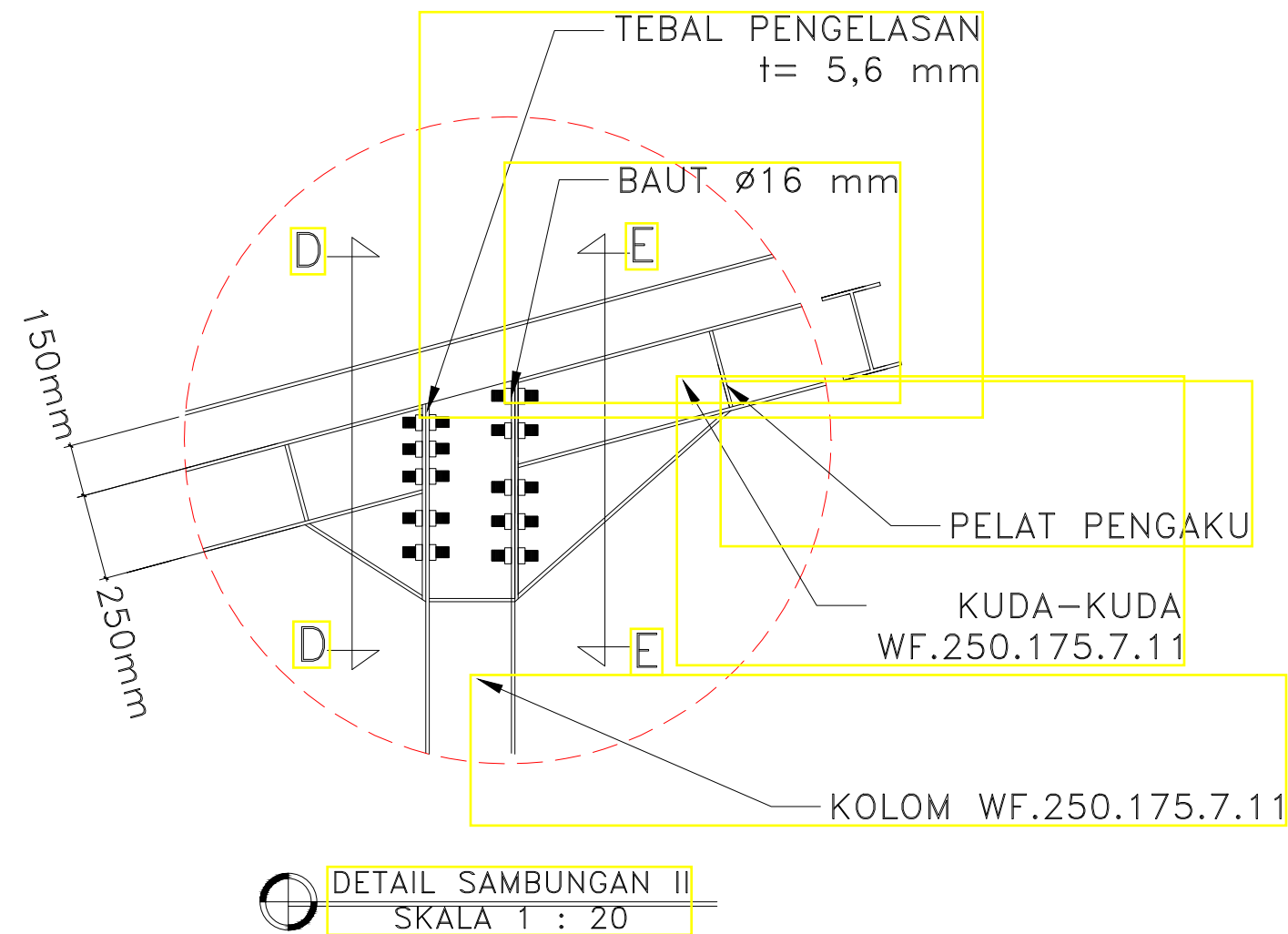
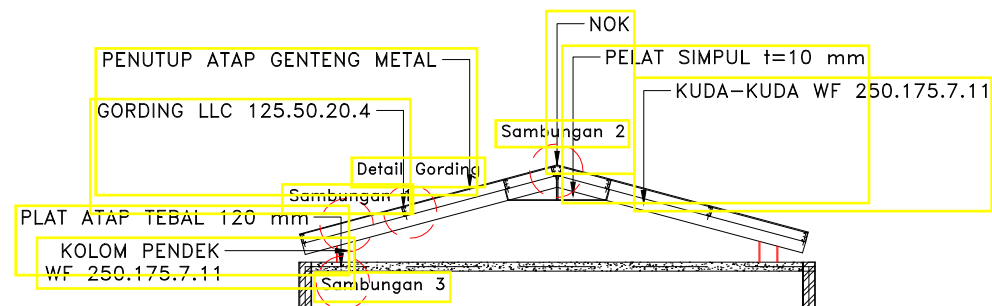
DETAIL SAMBUNGAN  
I

HALAMAN

26

KODE GAMBAR

STR



DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN STRUKTUR BANGUNAN  
RUKO EMPAT LANTAI DI SURABAYA  
DENGAN MENGGUNAKAN METODE SISTEM  
RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH  
(SRPMM)

DOSEN PEMBIMBING

Ir. SRIE SUBEKTI, MT.  
NIP.19560520 198903 2 001

NAMA MAHASISWA

1. NAILUS SAADAH (3114030048)

JUDUL GAMBAR

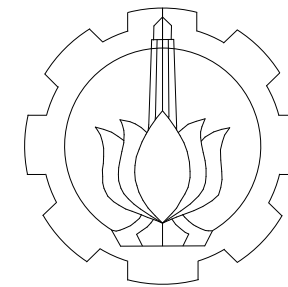
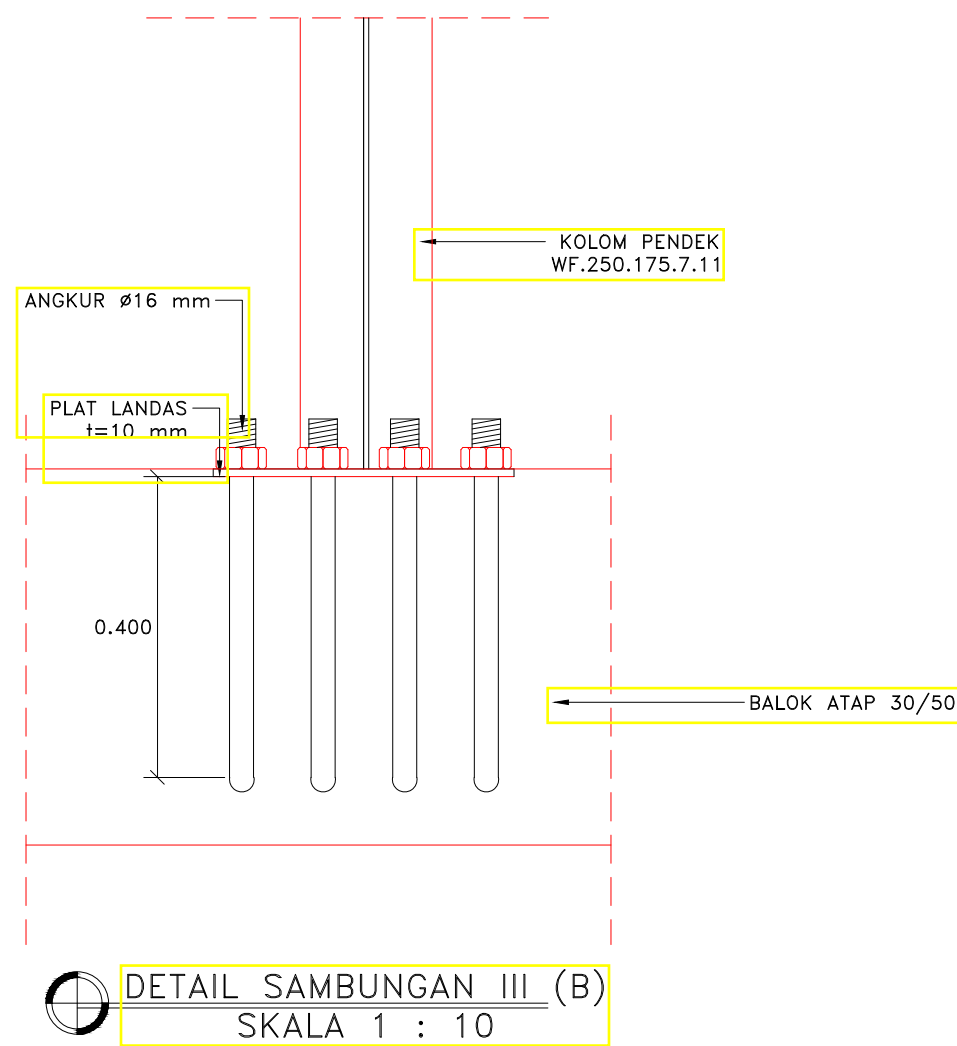
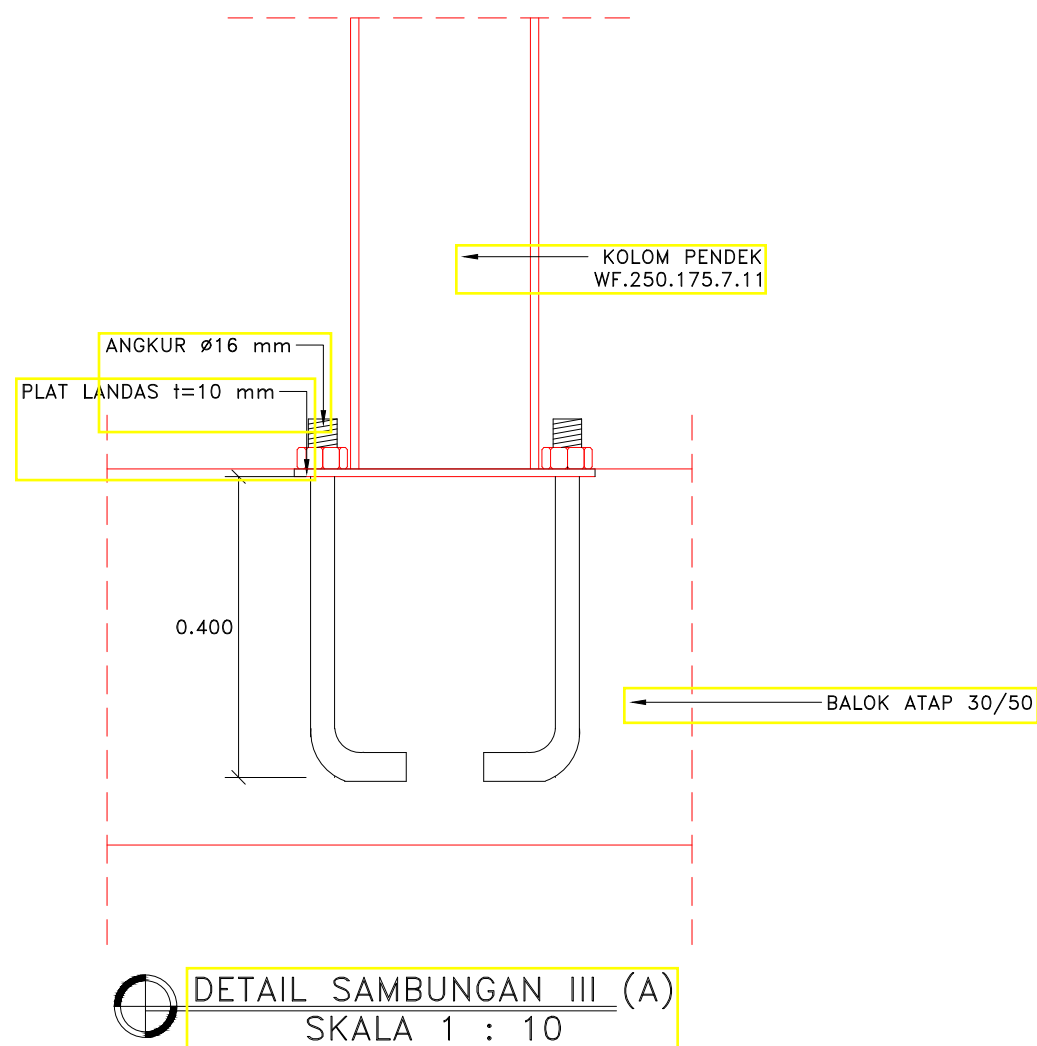
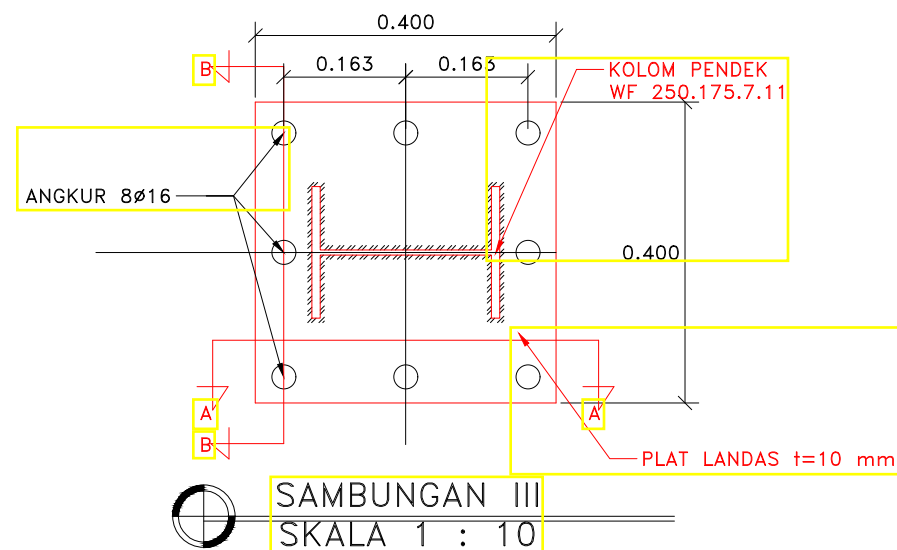
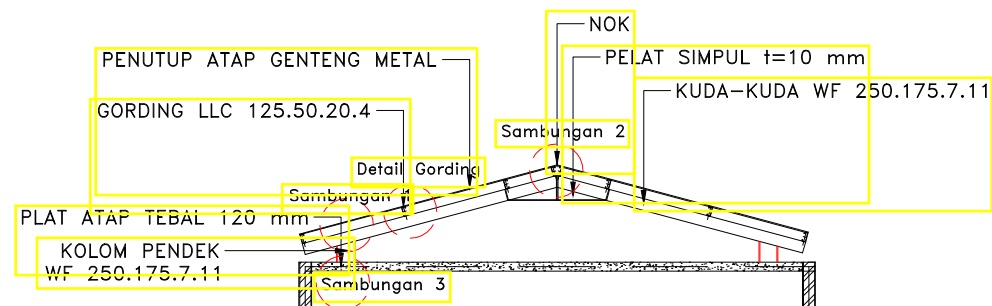
DETAIL SAMBUNGAN  
II

HALAMAN

27

KODE GAMBAR

STR



DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN STRUKTUR BANGUNAN  
RUKO EMPAT LANTAI DI SURABAYA  
DENGAN MENGGUNAKAN METODE SISTEM  
RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH  
(SRPMM)

DOSEN PEMBIMBING

Ir. SRIE SUBEKTI, MT.  
NIP.19560520 198903 2 001

NAMA MAHASISWA

1. NAILUS SAADAH (3114030048)

JUDUL GAMBAR

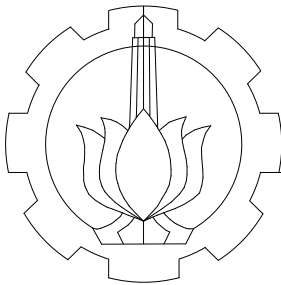
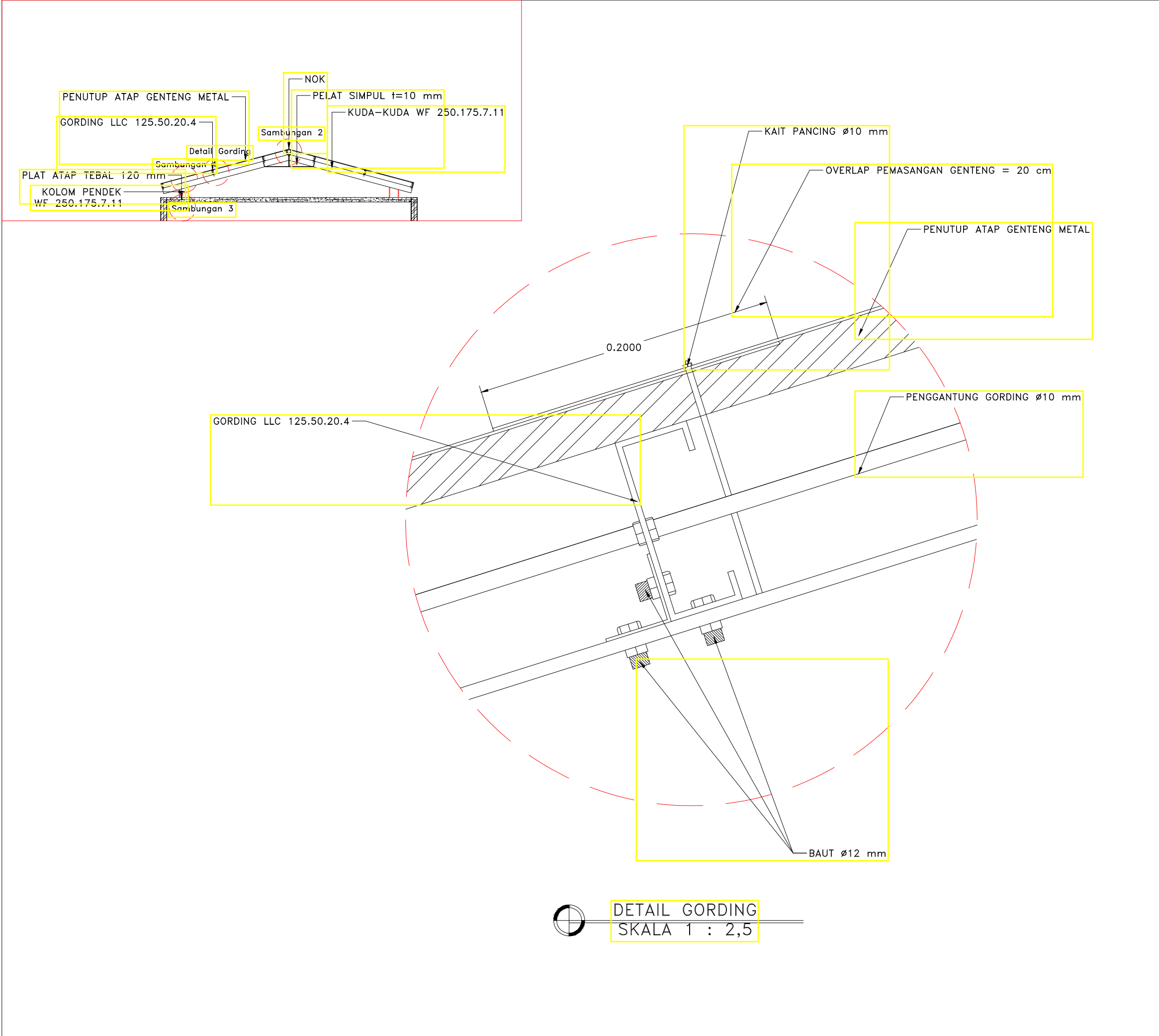
DETAIL SAMBUNGAN  
III

HALAMAN

28

KODE GAMBAR

STR



DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN STRUKTUR BANGUNAN  
RUKO EMPAT LANTAI DI SURABAYA  
DENGAN MENGGUNAKAN METODE SISTEM  
RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH  
(SRPMM)

DOSEN PEMBIMBING

Ir. SRIE SUBEKTI, MT.

NIP.19560520 198903 2 001

NAMA MAHASISWA

1. NAILUS SAADAH (3114030048)

JUDUL GAMBAR

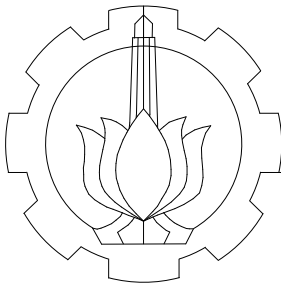
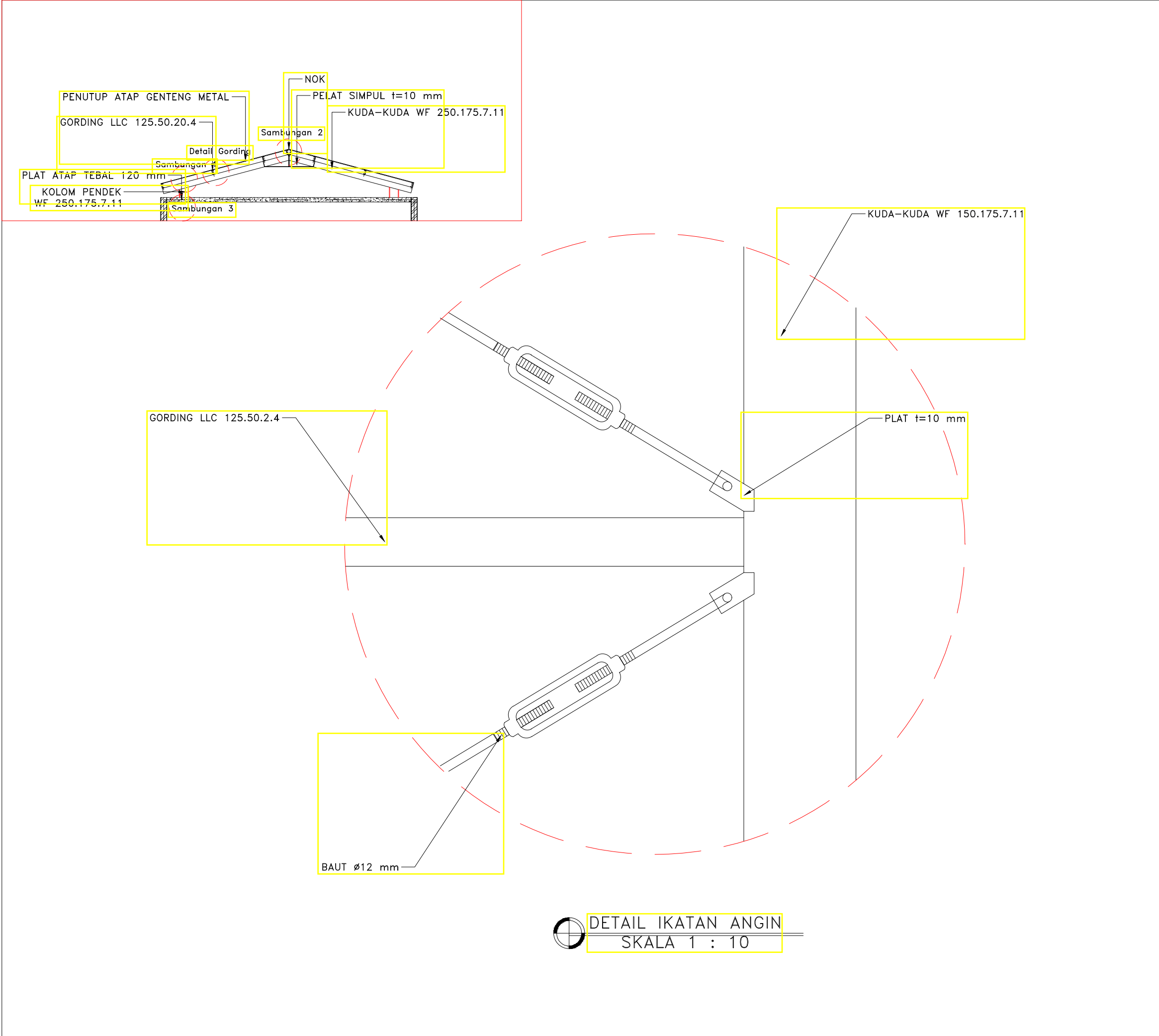
DETAIL GORDING

HALAMAN

KODE GAMBAR

29

STR



DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN STRUKTUR BANGUNAN  
RUKO EMPAT LANTAI DI SURABAYA  
DENGAN MENGGUNAKAN METODE SISTEM  
RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH  
(SRPMM)

DOSEN PEMBIMBING

Ir. SRIE SUBEKTI, MT.

NIP.19560520 198903 2 001

NAMA MAHASISWA

1. NAILUS SAADAH (3114030048)

JUDUL GAMBAR

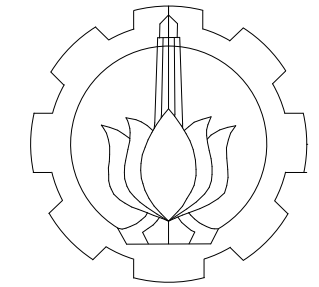
DETAIL IKATAN  
ANGIN

HALAMAN

30

KODE GAMBAR

STR



DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA

### JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN STRUKTUR BANGUNAN  
RUKO EMPAT LANTAI DI SURABAYA  
DENGAN MENGGUNAKAN METODE SISTEM  
RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH  
(SRPMM)

### DOSEN PEMBIMBING

Ir. SRIE SUBEKTI, MT.  
NIP.19560520 198903 2 001

### NAMA MAHASISWA

1. NAILUS SAADAH (3114030048)

### JUDUL GAMBAR

## TABEL PENULANGAN BALOK I

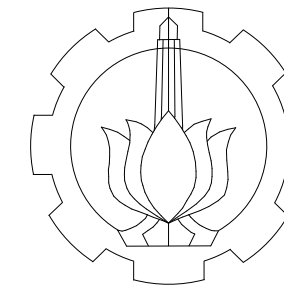
### HALAMAN

32

### KODE GAMBAR

STR

TYPE	B1		TYPE	B1		TYPE	B1	
LANTAI	TUMPUAN	LAPANGAN	LANTAI	TUMPUAN	LAPANGAN	LANTAI	TUMPUAN	LAPANGAN
LANTAI 1 As 1 A-B			LANTAI 2 As 1 A-B			LANTAI 3 As 1 A-B		
Dimensi	300 x 500	300 x 500	Dimensi	300 x 500	300 x 500	Dimensi	300 x 500	300 x 500
Tul.Atas	4 D19	2 D19	Tul.Atas	4 D19	2 D19	Tul.Atas	4 D19	2 D19
Tul.Torsi	4 D13	4 D13	Tul.Torsi	4 D13	4 D13	Tul.Torsi	4 D13	4 D13
Tul.Bawah	2 D19	5 D19	Tul.Bawah	2 D19	5 D19	Tul.Bawah	2 D19	5 D19
Sengkang	Ø10-150	Ø10-200	Sengkang	Ø10-150	Ø10-200	Sengkang	Ø10-150	Ø10-200
TYPE	B1		TYPE	B2		TYPE	B2	
LANTAI	TUMPUAN	LAPANGAN	LANTAI	TUMPUAN	LAPANGAN	LANTAI	TUMPUAN	LAPANGAN
ATAP As 7 A-B			LANTAI 1 As 1 B-C			LANTAI 2 As 1 B-C		
Dimensi	300 x 500	300 x 500	Dimensi	200 x 350	200 x 350	Dimensi	200 x 350	200 x 350
Tul.Atas	4 D19	2 D19	Tul.Atas	4 D19	2 D19	Tul.Atas	4 D19	2 D19
Tul.Torsi	4 D13	4 D13	Tul.Torsi	6 D16	6 D16	Tul.Torsi	6 D16	6 D16
Tul.Bawah	2 D19	5 D19	Tul.Bawah	2 D19	4 D19	Tul.Bawah	2 D19	4 D19
Sengkang	Ø10-150	Ø10-200	Sengkang	Ø10-180	Ø10-300	Sengkang	Ø10-180	Ø10-300
TYPE	B2		TYPE	B2		TYPE	B3	
LANTAI	TUMPUAN	LAPANGAN	LANTAI	TUMPUAN	LAPANGAN	LANTAI	TUMPUAN	LAPANGAN
LANTAI 3 As 1 B-C			ATAP As 7 B-C			LANTAI 1 As 3 A-B		
Dimensi	200 x 350	200 x 350	Dimensi	200 x 350	200 x 350	Dimensi	200 x 350	200 x 350
Tul.Atas	4 D19	2 D19	Tul.Atas	4 D19	2 D19	Tul.Atas	4 D19	2 D19
Tul.Torsi	6 D16	6 D16	Tul.Torsi	6 D16	6 D16	Tul.Torsi	6 D16	6 D16
Tul.Bawah	2 D19	4 D19	Tul.Bawah	2 D19	4 D19	Tul.Bawah	2 D19	4 D19
Sengkang	Ø10-150	Ø10-200	Sengkang	Ø10-180	Ø10-300	Sengkang	Ø10-180	Ø10-300



DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA

## JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN STRUKTUR BANGUNAN  
RUKO EMPAT LANTAI DI SURABAYA  
DENGAN MENGGUNAKAN METODE SISTEM  
RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH  
(SRPMM)

## DOSEN PEMBIMBING

Ir. SRIE SUBEKTI, MT.

NIP.19560520 198903 2 001

NAMA MAHASISWA

1. NAILUS SAADAH (3114030048)

JUDUL GAMBAR

TABEL PENULANGAN  
BALOK II

HALAMAN

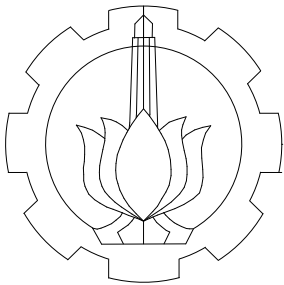
33

KODE GAMBAR

STRA

B3			B3			B4		
TYPE	TUMPUAN	LAPANGAN	TYPE	TUMPUAN	LAPANGAN	TYPE	TUMPUAN	LAPANGAN
LANTAI 2 As 3 A-B			LANTAI 3 As 3 A-B			LANTAI 1 As 3 B-C		
Dimensi	200 x 350	200 x 350	Dimensi	200 x 350	200 x 350	Dimensi	200 x 350	200 x 350
Tul.Atas	4 D19	2 D19	Tul.Atas	4 D19	2 D19	Tul.Atas	3 D16	2 D16
Tul.Torsi	6 D16	6 D16	Tul.Torsi	6 D16	6 D16	Tul.Torsi	—	—
Tul.Bawah	2 D19	4 D19	Tul.Bawah	2 D19	4 D19	Tul.Bawah	2 D16	3 D16
Sengkang	Ø10-180	Ø10-300	Sengkang	Ø10-180	Ø10-300	Sengkang	Ø12-100	Ø12-130
B4			B4			B5		
TYPE	TUMPUAN	LAPANGAN	TYPE	TUMPUAN	LAPANGAN	TYPE	TUMPUAN	LAPANGAN
LANTAI 2 As 3 B-C			LANTAI 3 As 3 B-C			LANTAI 1 As 7-8 A-AB		
Dimensi	200 x 350	200 x 350	Dimensi	200 x 350	200 x 350	Dimensi	400 x 700	400 x 700
Tul.Atas	3 D16	2 D16	Tul.Atas	3 D16	2 D16	Tul.Atas	3 D22	2 D22
Tul.Torsi	—	—	Tul.Torsi	—	—	Tul.Torsi	—	—
Tul.Bawah	2 D16	3 D16	Tul.Bawah	2 D16	3 D16	Tul.Bawah	2 D22	5 D22
Sengkang	Ø12-100	Ø12-130	Sengkang	Ø12-100	Ø12-130	Sengkang	Ø10-50	Ø10-130
B5			B5			B5		
TYPE	TUMPUAN	LAPANGAN	TYPE	TUMPUAN	LAPANGAN	TYPE	TUMPUAN	LAPANGAN
LANTAI 2 As 7-8 A-AB			LANTAI 3 As 7-8 A-AB			ATAP As 7-8 A-AB		
Dimensi	400 x 700	400 x 700	Dimensi	400 x 700	400 x 700	Dimensi	400 x 700	400 x 700
Tul.Atas	3 D22	2 D22	Tul.Atas	3 D22	2 D22	Tul.Atas	3 D22	2 D22
Tul.Torsi	—	—	Tul.Torsi	—	—	Tul.Torsi	—	—
Tul.Bawah	2 D22	5 D22	Tul.Bawah	2 D22	5 D22	Tul.Bawah	2 D22	5 D22
Sengkang	Ø10-50	Ø10-130	Sengkang	Ø10-50	Ø10-130	Sengkang	Ø10-50	Ø10-130





DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN STRUKTUR BANGUNAN  
RUKO EMPAT LANTAI DI SURABAYA  
DENGAN MENGGUNAKAN METODE SISTEM  
RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH  
(SRPMM)

DOSEN PEMBIMBING

Ir. SRIE SUBEKTI, MT.

NIP.19560520 198903 2 001

NAMA MAHASISWA

1. NAILUS SAADAH (3114030048)

JUDUL GAMBAR

TABEL PENULANGAN  
BALOK III

HALAMAN

KODE GAMBAR

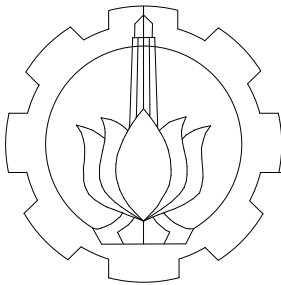
34

STR

TYPE	BB		TYPE	S1		TYPE	S1	
LANTAI	TUMPUAN	LAPANGAN	LANTAI	TUMPUAN	LAPANGAN	LANTAI	TUMPUAN	LAPANGAN
LANTAI 1 As A-A'			LANTAI DASAR As 1 A-B			LANTAI DASAR As 1 B-C		
Dimensi	200 x 350	200 x 350	Dimensi	300 x 500	300 x 500	Dimensi	300 x 500	300 x 500
Tul.Atas	2 D19	2 D16	Tul.Atas	3 D19	3 D19	Tul.Atas	3 D19	3 D19
Tul.Torsi	2 D13	2 D13	Tul.Torsi	—	—	Tul.Torsi	—	—
Tul.Bawah	2 D13	2 D19	Tul.Bawah	3 D19	3 D19	Tul.Bawah	3 D19	3 D19
Sengkang	ø10-100	ø10-130	Sengkang	ø10-200	ø10-200	Sengkang	ø10-200	ø10-200

TYPE	S1	
LANTAI	TUMPUAN	LAPANGAN
LANTAI DASAR As A 7-8		
Dimensi	300 x 500	300 x 500
Tul.Atas	3 D19	3 D19
Tul.Torsi	—	—
Tul.Bawah	3 D19	3 D19
Sengkang	ø10-200	ø10-200





DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN STRUKTUR BANGUNAN  
RUKO EMPAT LANTAI DI SURABAYA  
DENGAN MENGGUNAKAN METODE SISTEM  
RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH  
(SRPMM)

DOSEN PEMBIMBING

Ir. SRIE SUBEKTI, MT.

NIP.19560520 198903 2 001

NAMA MAHASISWA

1. NAILUS SAADAH (3114030048)

JUDUL GAMBAR

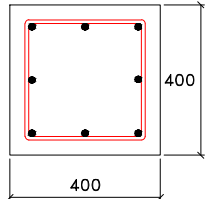
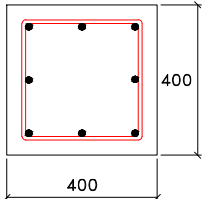
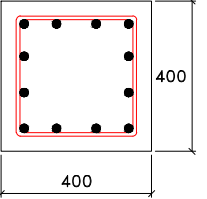
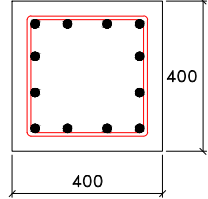
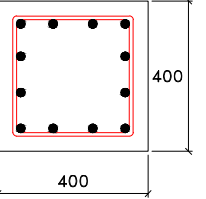
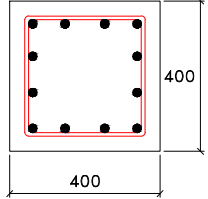
TABEL PENULANGAN  
KOLOM

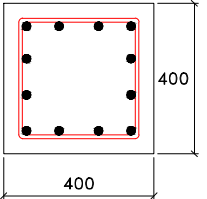
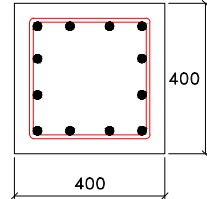
HALAMAN

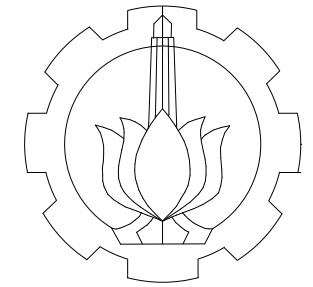
KODE GAMBAR

35

STR

K1			K2			K2		
TYPE	TUMPUAN	LAPANGAN	TYPE	TUMPUAN	LAPANGAN	TYPE	TUMPUAN	LAPANGAN
LANTAI			LANTAI			LANTAI		
LANTAI DASAR As 4-B			LANTAI 1 As 4-B			LANTAI 2 As 4-B		
Dimensi	400 x 400	400 x 400	Dimensi	400 x 400	400 x 400	Dimensi	400 x 400	400 x 400
Tul.Lentur	8 D19	8 D19	Tul.Lentur	12 D22	12 D22	Tul.Lentur	12 D22	12 D22
Sengkang	Ø10-150	Ø10-150	Sengkang	Ø10-150	Ø10-150	Sengkang	Ø10-150	Ø10-150

K2		
TYPE	TUMPUAN	LAPANGAN
LANTAI		
LANTAI 3 As 4-B		
Dimensi	400 x 400	400 x 400
Tul.Lentur	12 D22	12 D22
Sengkang	Ø10-150	Ø10-150



DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN STRUKTUR BANGUNAN  
RUKO EMPAT LANTAI DI SURABAYA  
DENGAN MENGGUNAKAN METODE SISTEM  
RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH  
(SRPMM)

DOSEN PEMBIMBING

Ir. SRIE SUBEKTI, MT.  
NIP.19560520 198903 2 001

NAMA MAHASISWA

1. NAILUS SAADAH (3114030048)

JUDUL GAMBAR

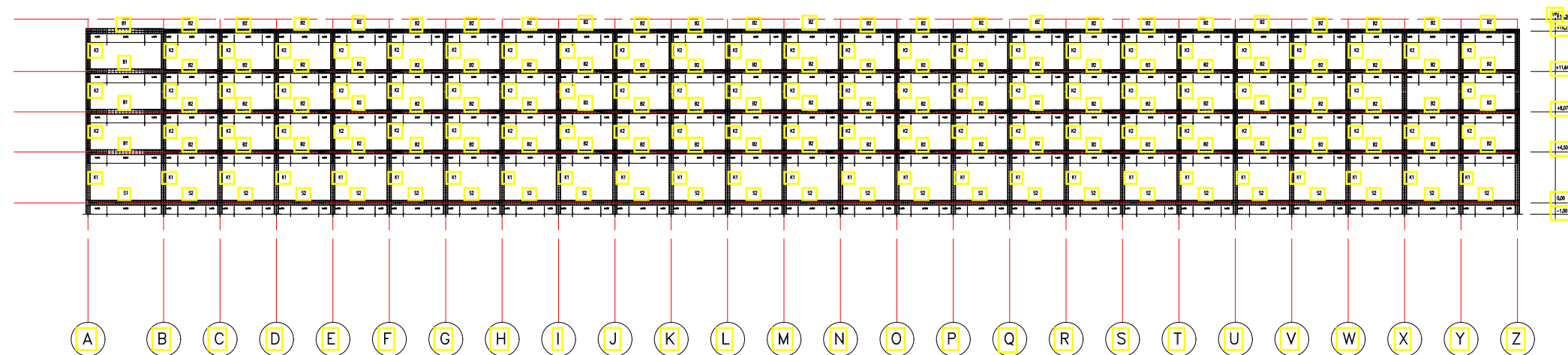
DETAIL PORTAL  
MEMANJANG

HALAMAN

KODE GAMBAR

36

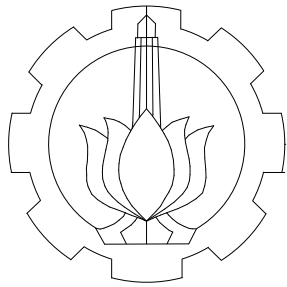
STR



PORTAL MEMANJANG AS 1 A - Z  
SKALA 1 : 500



PORTAL MELINTANG AS A 1-9 (I)  
SKALA 1 : 100



DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN STRUKTUR BANGUNAN  
RUKO EMPAT LANTAI DI SURABAYA  
DENGAN MENGGUNAKAN METODE SISTEM  
RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH  
(SRPMM)

DOSEN PEMBIMBING

Ir. SRIE SUBEKTI, MT.

NIP.19560520 198903 2 001

NAMA MAHASISWA

1. NAILUS SAADAH (3114030048)

JUDUL GAMBAR

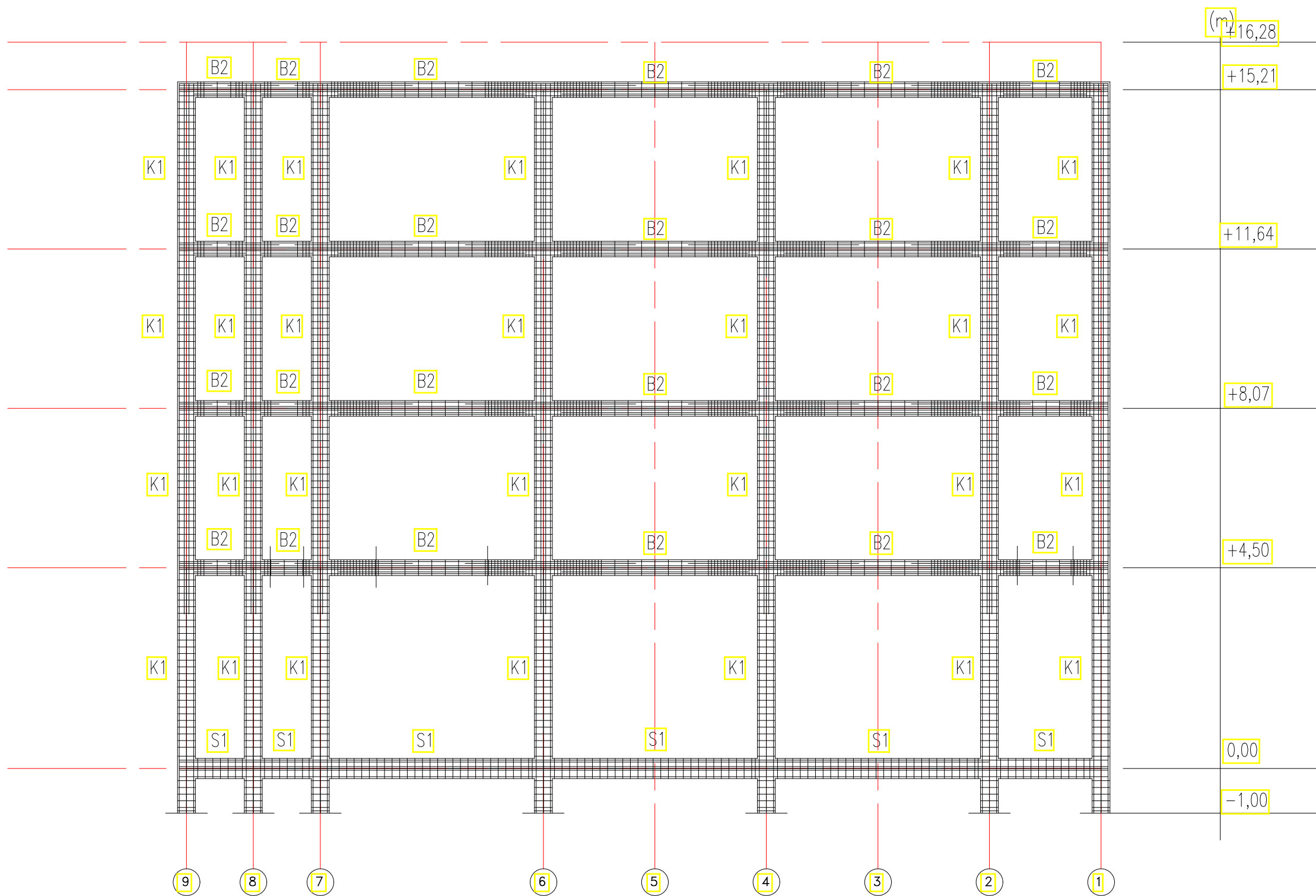
DETAIL PORTAL  
MELINTANG (I)

HALAMAN

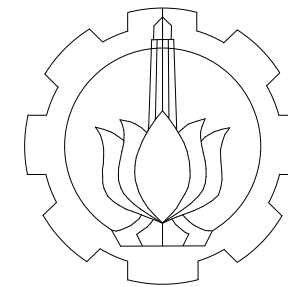
KODE GAMBAR

37

STR



PORTAL MELINTANG AS C 1-9 (II)  
SKALA 1 : 100



DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN STRUKTUR BANGUNAN  
RUKO EMPAT LANTAI DI SURABAYA  
DENGAN MENGGUNAKAN METODE SISTEM  
RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH  
(SRPMM)

DOSEN PEMBIMBING

Ir. SRIE SUBEKTI, MT.  
NIP.19560520 198903 2 001

NAMA MAHASISWA

1. NAILUS SAADAH (3114030048)

JUDUL GAMBAR

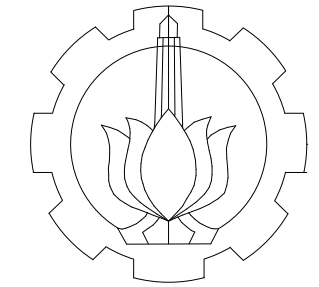
DETAIL PORTAL  
MELINTANG (II)

HALAMAN

38

KODE GAMBAR

STR



DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN STRUKTUR BANGUNAN  
RUKO EMPAT LANTAI DI SURABAYA  
DENGAN MENGGUNAKAN METODE SISTEM  
RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH  
(SRPMM)

DOSEN PEMBIMBING

Ir. SRIE SUBEKTI, MT.

NIP.19560520 198903 2 001

NAMA MAHASISWA

1. NAILUS SAADAH (3114030048)

JUDUL GAMBAR

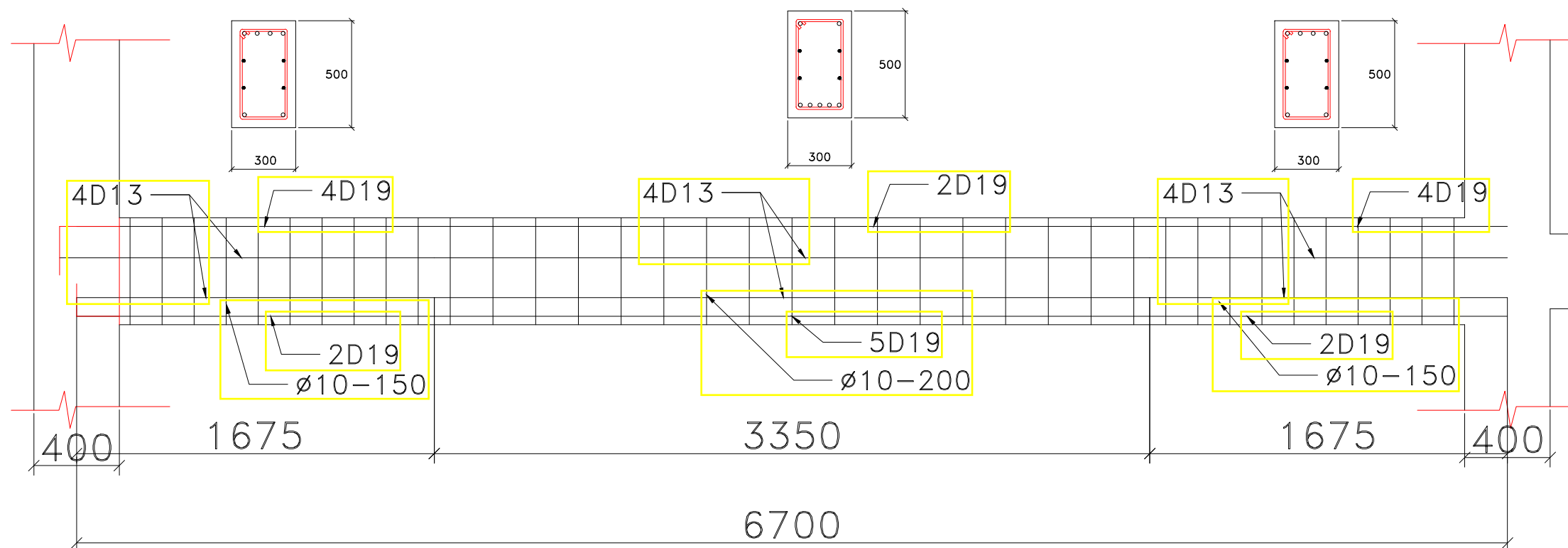
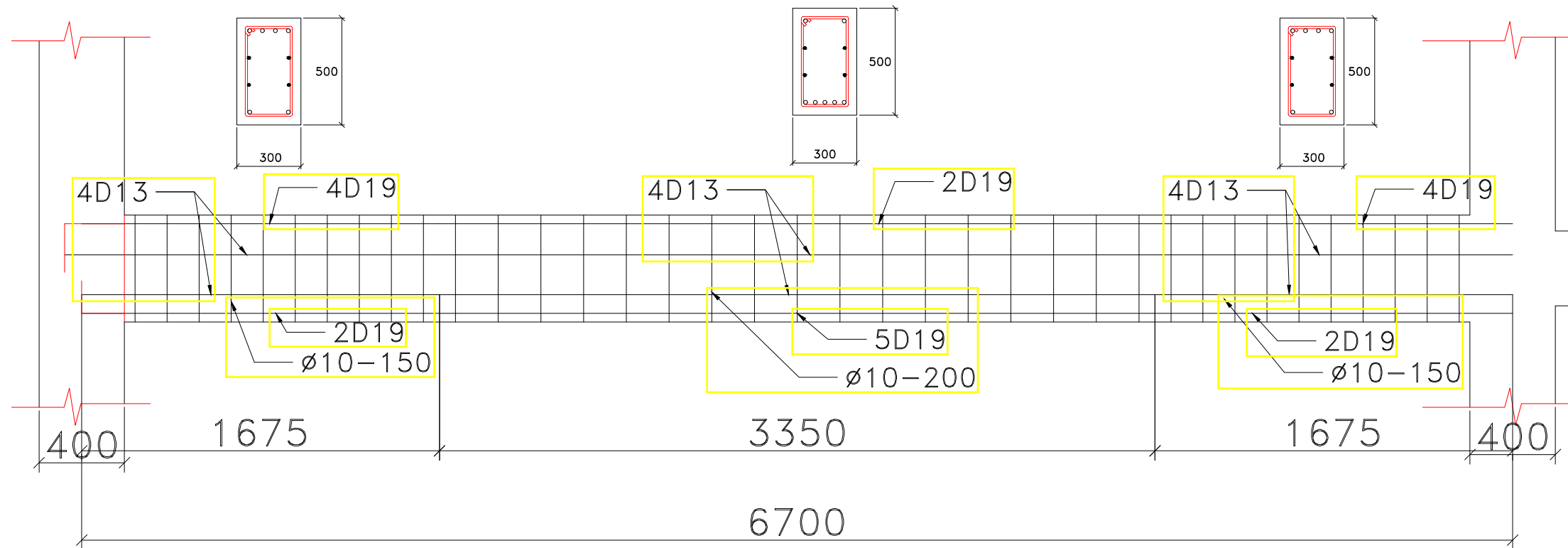
DETAIL PORTAL  
BALOK MEMANJANG  
As A-B

HALAMAN

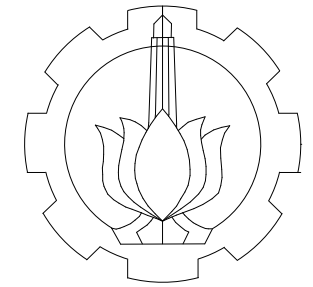
KODE GAMBAR

39

STR



DETAIL PENULANGAN BALOK LANTAI 1-4 As A-B  
SKALA 1 : 25



DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN STRUKTUR BANGUNAN  
RUKO EMPAT LANTAI DI SURABAYA  
DENGAN MENGGUNAKAN METODE SISTEM  
RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH  
(SRPMM)

DOSEN PEMBIMBING

Ir. SRIE SUBEKTI, MT.  
NIP.19560520 198903 2 001

NAMA MAHASISWA

1. NAILUS SAADAH (3114030048)

JUDUL GAMBAR

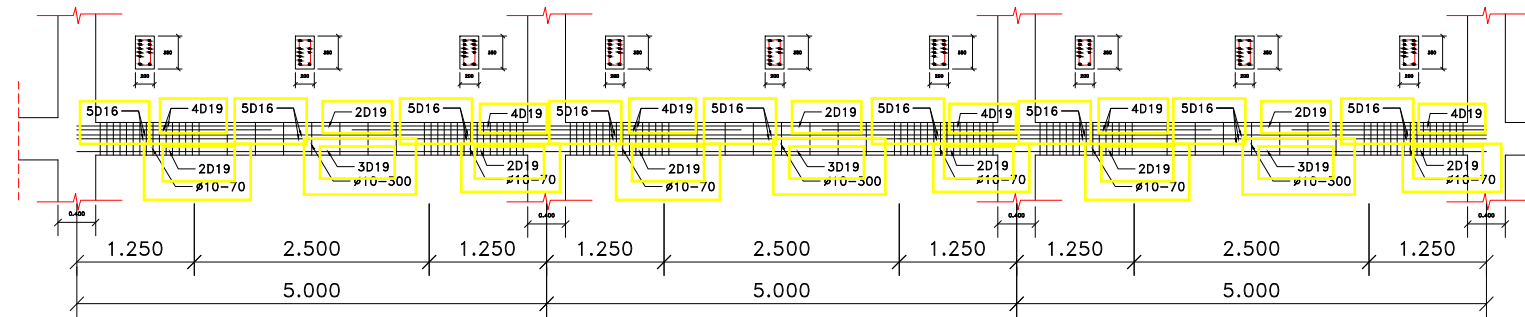
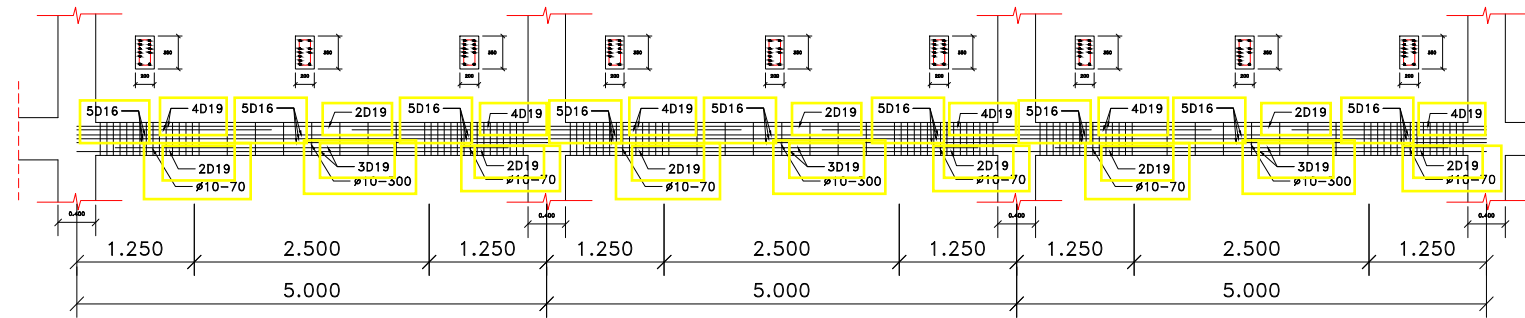
DETAIL PORTAL  
BALOK MEMANJANG

HALAMAN

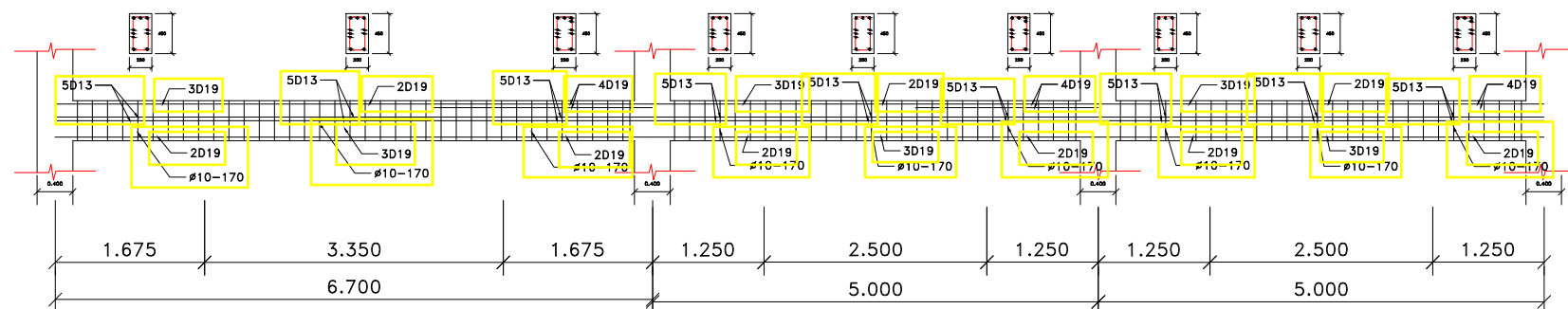
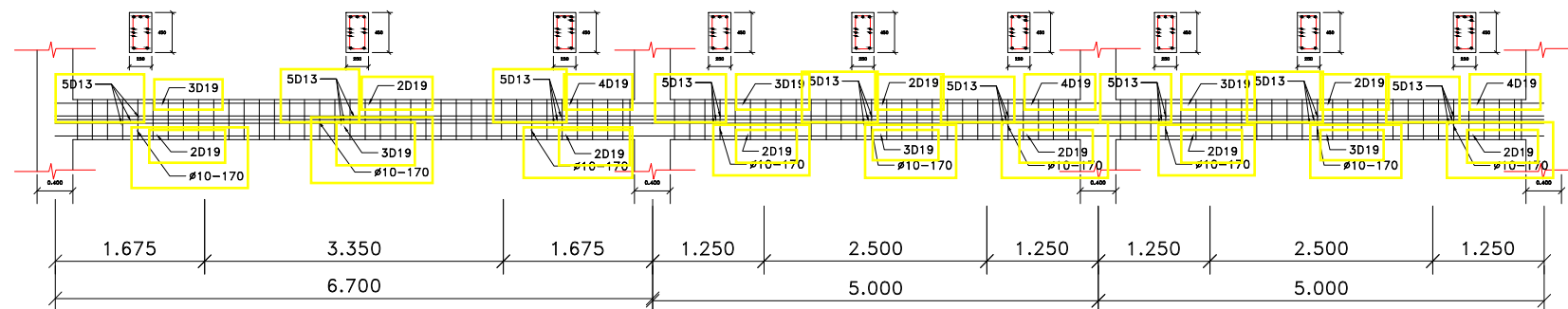
KODE GAMBAR

40

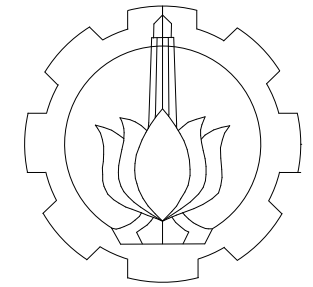
STR



DETAIL PENULANGAN BALOK LANTAI 1-3 As B-E  
SKALA 1 : 80



DETAIL PENULANGAN SLOOF As A-C  
SKALA 1 : 80



DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN STRUKTUR BANGUNAN  
RUKO EMPAT LANTAI DI SURABAYA  
DENGAN MENGGUNAKAN METODE SISTEM  
RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH  
(SRPMM)

DOSEN PEMBIMBING

Ir. SRIE SUBEKTI, MT.  
NIP.19560520 198903 2 001

NAMA MAHASISWA

1. NAILUS SAADAH (3114030048)

JUDUL GAMBAR

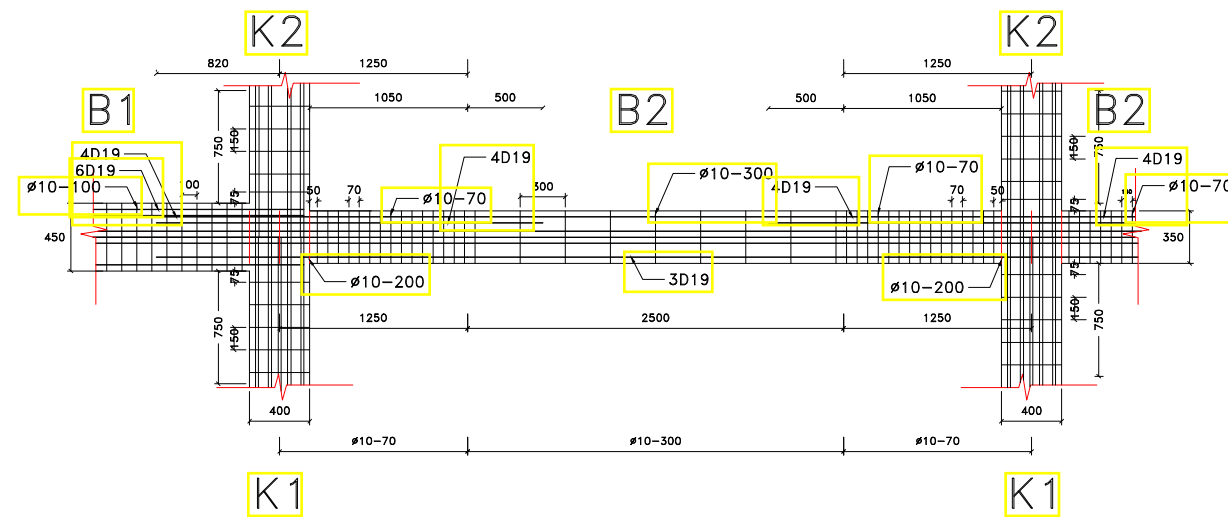
DETAIL PORTAL  
(HUBUNGAN  
BALOK-KOLOM)

HALAMAN

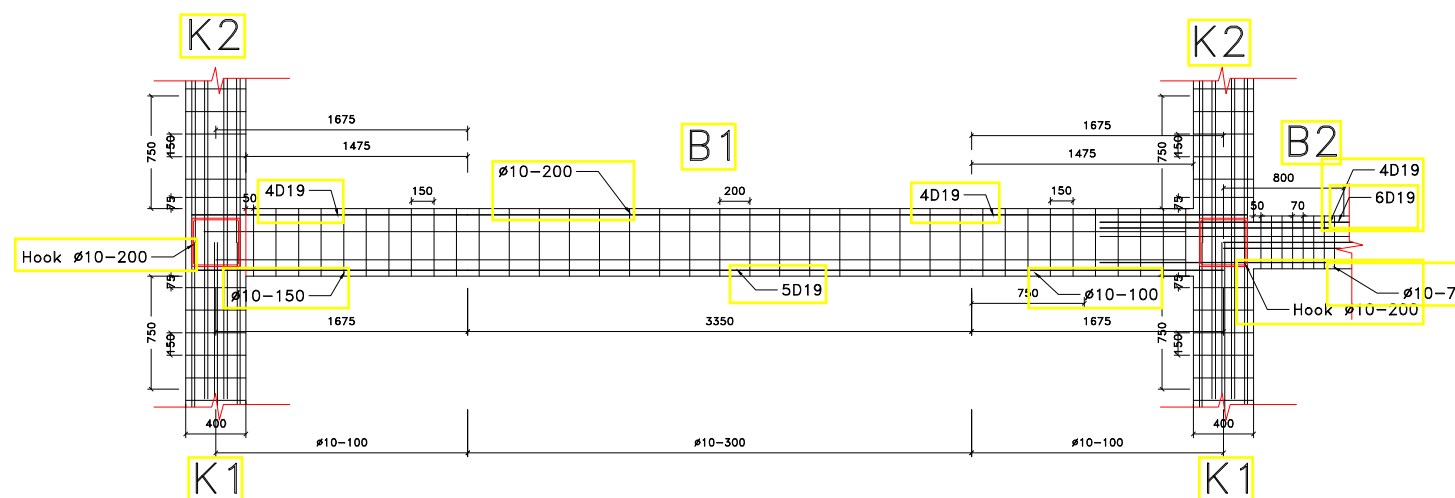
KODE GAMBAR

41

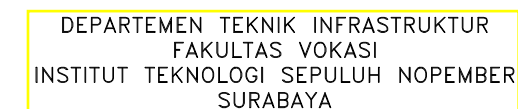
STR



PORTAL BALOK B2 As 4 B-C  
SKALA 1 : 50



PORTAL BALOK B1 As 4 A-B  
SKALA 1 : 50



PERENCANAAN STRUKTUR BANGUNAN  
RUKO EMPAT LANTAI DI SURABAYA  
DENGAN MENGGUNAKAN METODE SISTEM  
RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH  
(SRPMM)

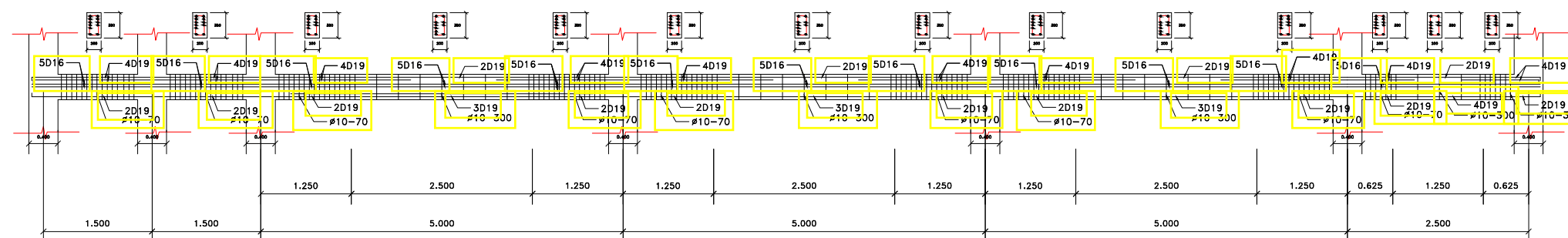
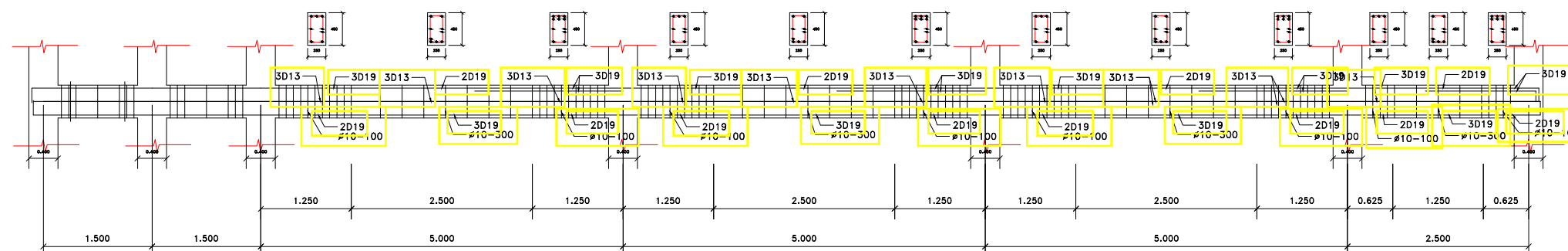
NIP.19560520 198903 2 001

1. NAILUS SAADAH (3114030048)

DETAIL PORTAL  
BALOK MELINTANG

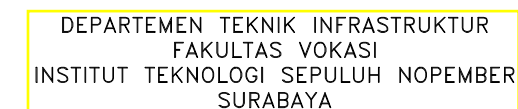
KODE GAMBAR

STAY



DETAIL PENULANGAN BALOK LANTAI 1 As C 1-9  
SKALA 1 : 80





PERENCANAAN STRUKTUR BANGUNAN  
RUKO EMPAT LANTAI DI SURABAYA  
DENGAN MENGGUNAKAN METODE SISTEM  
RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH  
(SRPMM)

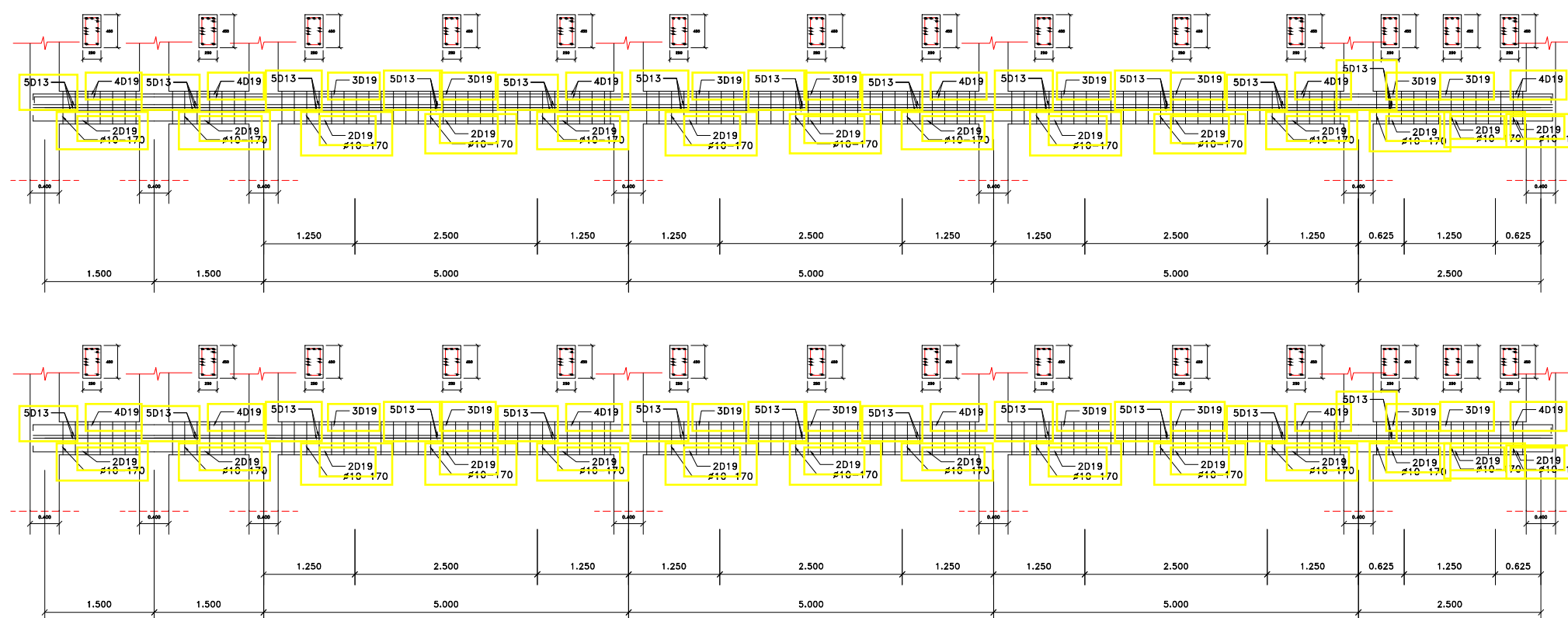
NIP.19560520 198903 2 001

1. NAILUS SAADAH (3114030048)

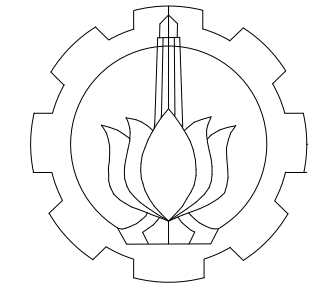
DETAIL PORTAL  
BALOK MELINTANG

KODE GAMBAR

STR



DETAIL PENULANGAN SLOOF	As A 1-9
SKALA 1 : 80	



DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA

### JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN STRUKTUR BANGUNAN  
RUKO EMPAT LANTAI DI SURABAYA  
DENGAN MENGGUNAKAN METODE SISTEM  
RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH  
(SRPMM)

### DOSEN PEMBIMBING

Ir. SRIE SUBEKTI, MT.  
NIP.19560520 198903 2 001

### NAMA MAHASISWA

1. NAILUS SAADAH (3114030048)

### JUDUL GAMBAR

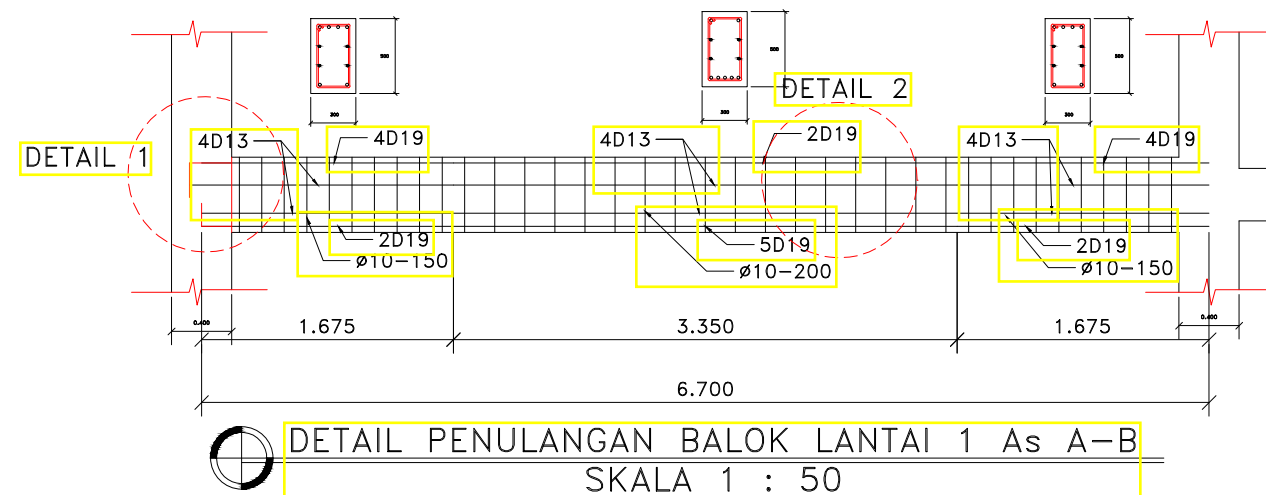
DETAIL PANJANG  
PENYALURAN,  
BENGKOKAN, DAN KAIT  
PADA BALOK B1

### HALAMAN

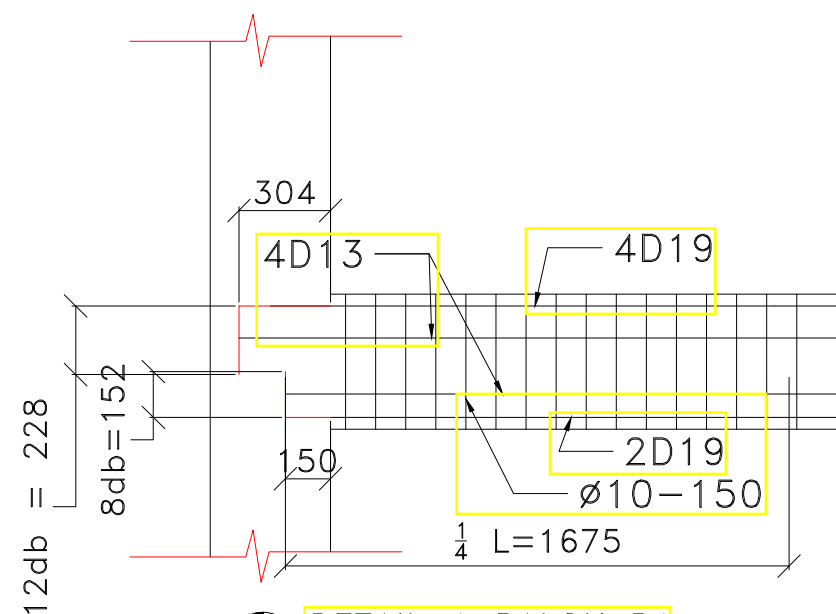
44

### KODE GAMBAR

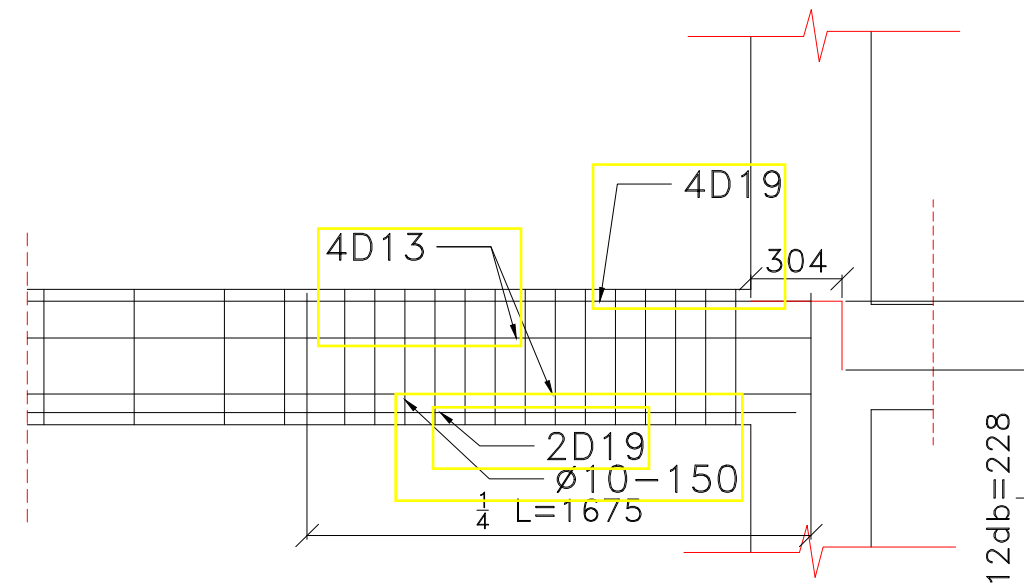
STR



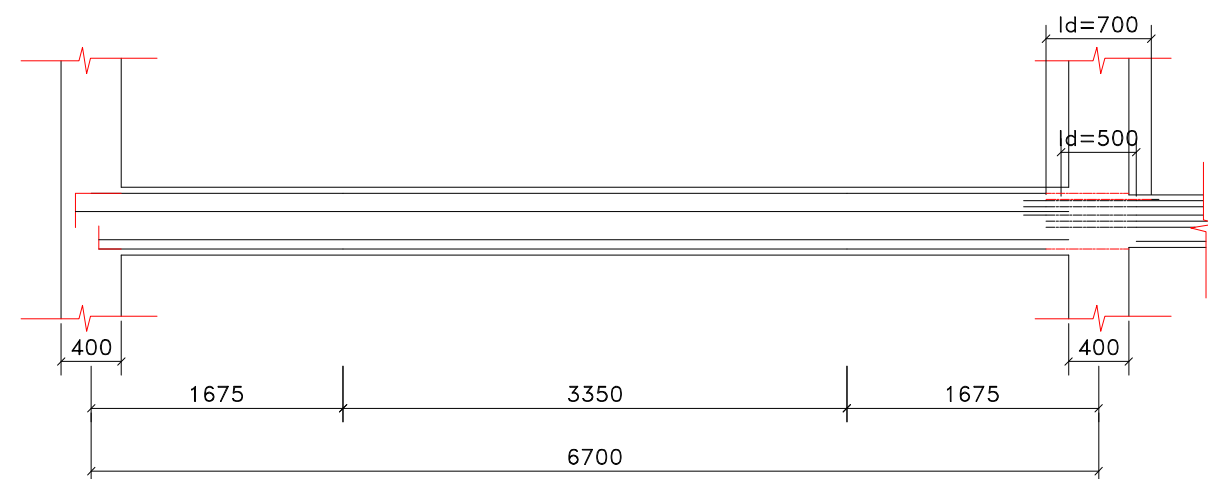
DETAIL PENULANGAN BALOK LANTAI 1 As A-B  
SKALA 1 : 50



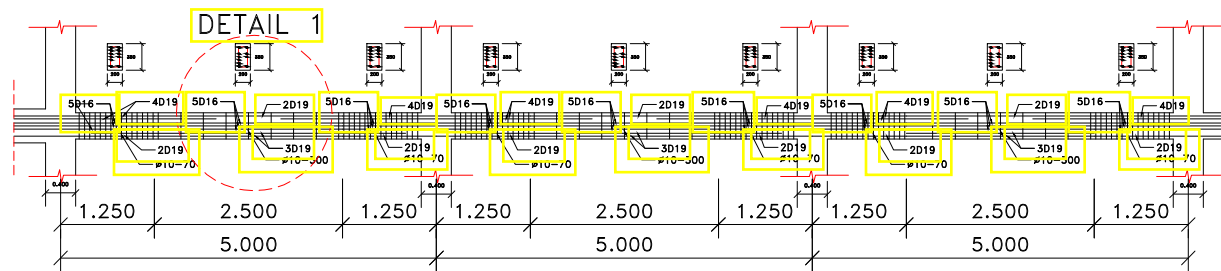
DETAIL 1 BALOK B1  
SKALA 1 : 25



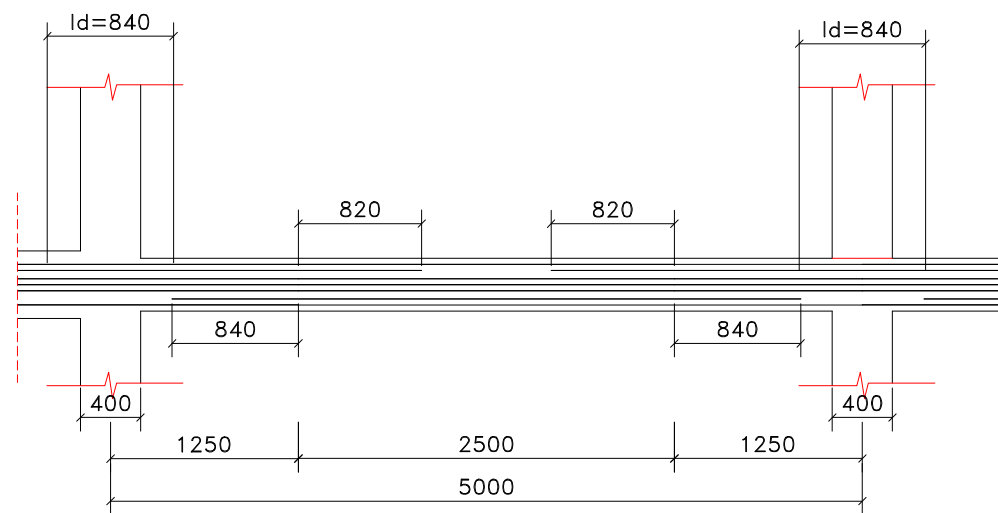
DETAIL 2 BALOK B1  
SKALA 1 : 25



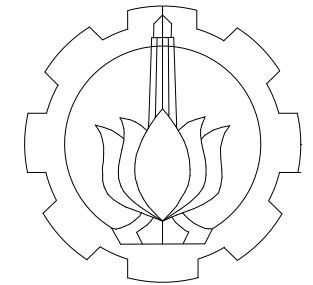
Detail Sambungan Lewatan Balok B1 Tampak Samping  
SKALA 1 : 50



DETAIL PENULANGAN BALOK LANTAI 1 As B-E  
SKALA 1 : 100



Detail Sambungan Lewatan Balok B2 Tampak Samping  
SKALA 1 : 50



DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN STRUKTUR BANGUNAN  
RUKO EMPAT LANTAI DI SURABAYA  
DENGAN MENGGUNAKAN METODE SISTEM  
RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH  
(SRPMM)

DOSEN PEMBIMBING

Ir. SRIE SUBEKTI, MT.  
NIP.19560520 198903 2 001

NAMA MAHASISWA

1. NAILUS SAADAH (3114030048)

JUDUL GAMBAR

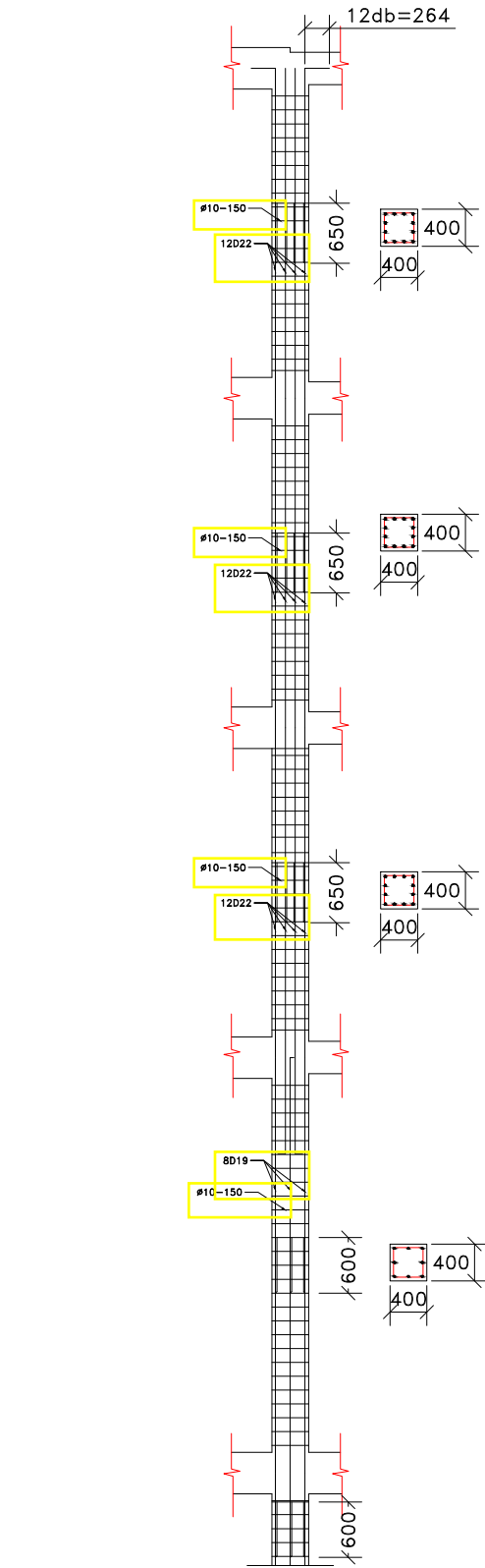
DETAIL PANJANG  
PENYALURAN,  
BENGKOKAN, DAN KAIT  
PADA BALOK B2

HALAMAN

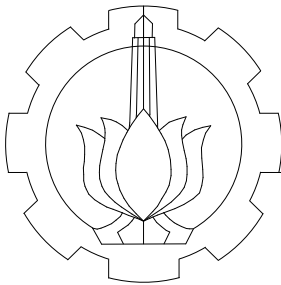
KODE GAMBAR

45

STR



DETAIL PORTAL KOLOM As 4-B  
SKALA 1 : 80



DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN STRUKTUR BANGUNAN  
RUKO EMPAT LANTAI DI SURABAYA  
DENGAN MENGGUNAKAN METODE SISTEM  
RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH  
(SRPMM)

DOSEN PEMBIMBING

Ir. SRIE SUBEKTI, MT.

NIP.19560520 198903 2 001

NAMA MAHASISWA

1. NAILUS SAADAH (3114030048)

JUDUL GAMBAR

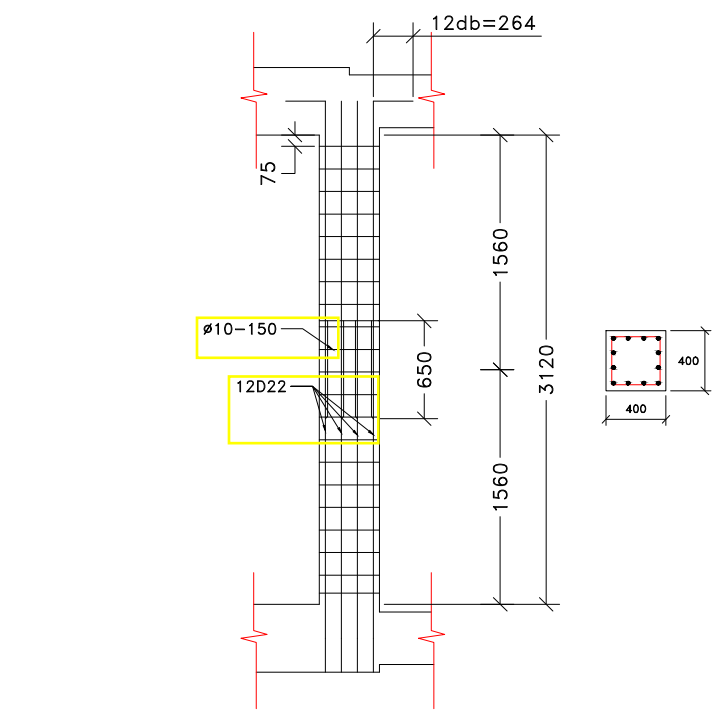
PORTAL KOLOM

HALAMAN

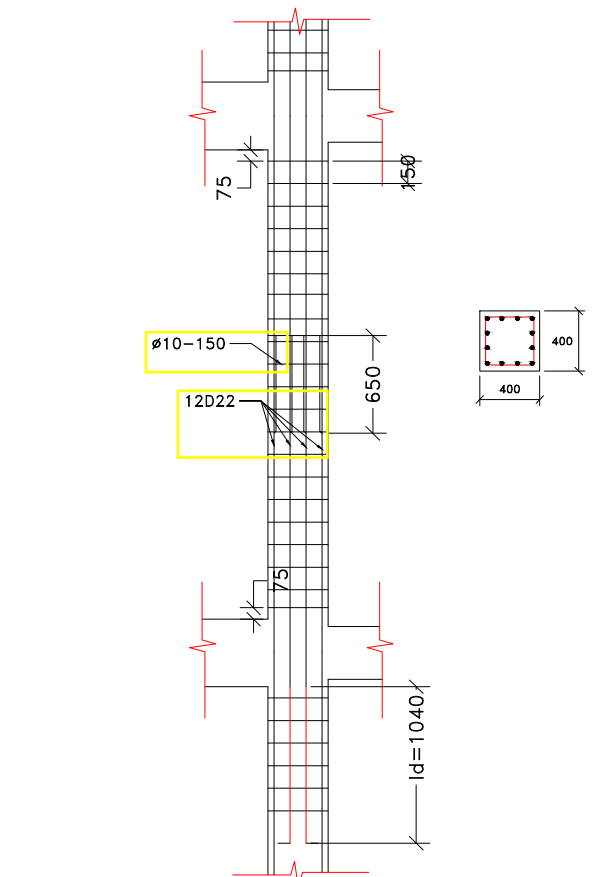
46

KODE GAMBAR

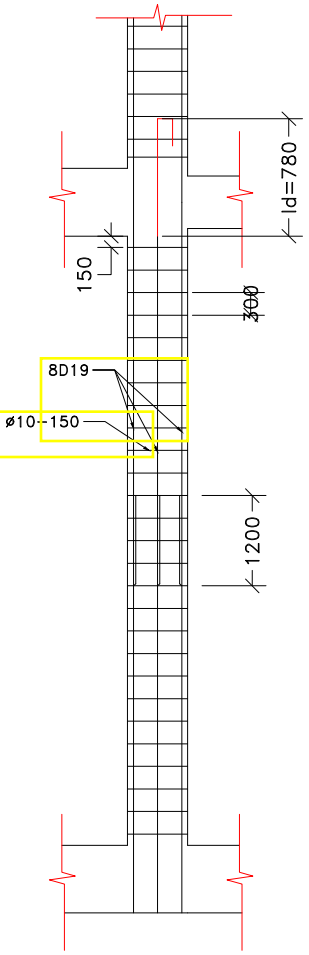
STR



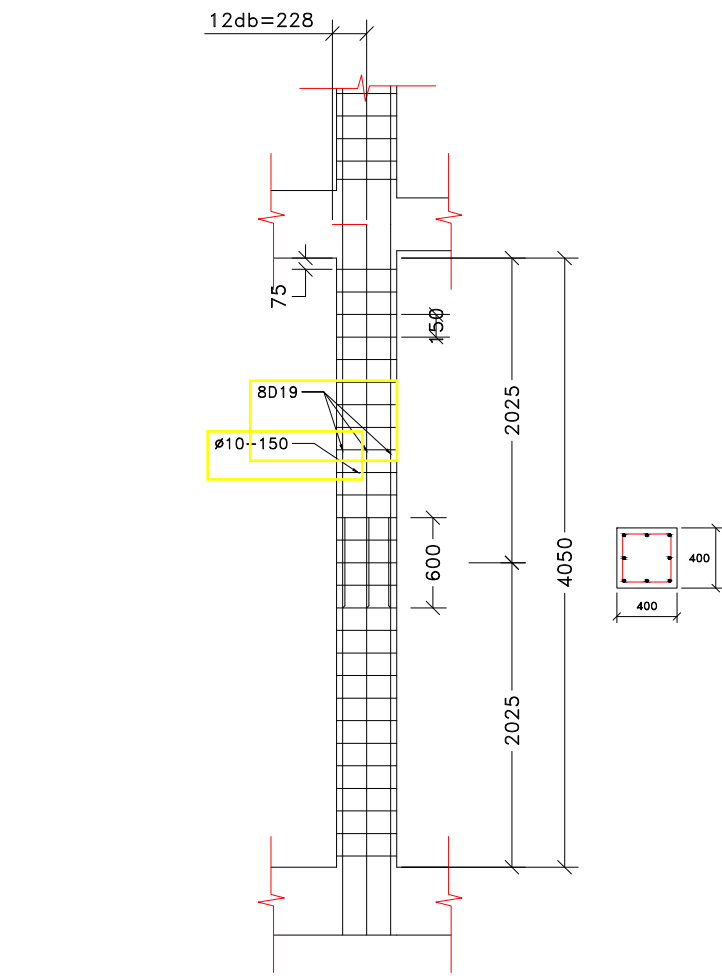
SAMBUNGAN LEWATAN KOLOM K2  
SKALA 1 : 50



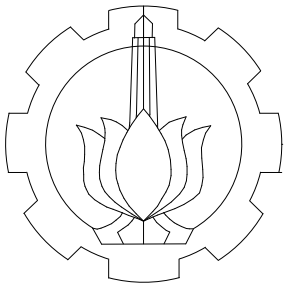
PANJANG PENYALURAN KOLOM K2  
SKALA 1 : 50



PANJANG PENYALURAN KOLOM K1  
SKALA 1 : 50



SAMBUNGAN LEWATAN KOLOM K1  
SKALA 1 : 50



DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR  
FAKULTAS VOKASI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA

JUDUL TUGAS AKHIR

PERENCANAAN STRUKTUR BANGUNAN  
RUKO EMPAT LANTAI DI SURABAYA  
DENGAN MENGGUNAKAN METODE SISTEM  
RANGKA PEMIKUL MOMEN MENENGAH  
(SRPMM)

DOSEN PEMBIMBING

Ir. SRIE SUBEKTI, MT.

NIP.19560520 198903 2 001

NAMA MAHASISWA

1. NAILUS SAADAH (3114030048)

JUDUL GAMBAR

DETAIL KAIT STANDART,  
SAMBUNGAN LEWATAN,  
DAN PANJANG  
PENYALURAN KOLOM

HALAMAN

KODE GAMBAR

47

STR